

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Návrh čerpadel pro vodohospodářský systém obce Ovesná Lhota

Design of the Pumping Equipment for the Water Supply System of Ovesná Lhota

Student: Tomáš Fryšťacký

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Sylva Drábková Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Fryšťacký**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení
Téma: **Návrh čerpadel pro vodohospodářský systém obce Ovesná Lhota**
Design of the Pumping Equipment for the Water Supply System of Ovesná Lhota

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je návrh čerpadel v souvislosti s koncepcí zásobování pitnou vodou a provozováním vodojemů v dané lokalitě.

1. Popište současný stav zásobování pitnou vodou v obci.
2. Proveďte hydraulický výpočet potrubí pro dané podmínky.
3. Navrhněte vhodná čerpadla pro daný účel a podmínky čerpání.
4. Posuďte možnost provozu a regulace navržených čerpadel.

Seznam doporučené odborné literatury:

- BLÁHA, J., BRADA, K. *Příručka čerpací techniky*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1997. 289 s. ISBN 80-01-01626-9.
- STRÝČEK, O. *Hydrodynamické čerpadlá*. 2. vyd. Bratislava: STU, 1994. 297 s. ISBN 80-227-0662-0.
- PACIGA, A. a kol. *Čerpacia technika*. Bratislava: ALFA, 1984. 223 s.
- Melichar, J., Bláha, J. *Problematika soudobé čerpací techniky*. Praha: ČVUT, 2007. 265 s. ISBN 978-80-01-03719-5.
- Blejchař, T., Drábková, S. *Čerpací technika a potrubí, návody do cvičení*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2010. 76 s. ISBN 978-80-248-2205-1.
- BRENNEN, C. E. *Hydrodynamics of Pumps*. [online] Datum poslední revize 16.11.2015. Dostupné z <<http://authors.library.caltech.edu/25019/3/pumbook.pdf>>
- BOLDIŠ, P. *Bibliografické citace podle dokumentů ČSN ISO 690 a ČSN ISO 690-2 část 2 – Modely a příklady citací u jednotlivých typů dokumentů*. [online], Datum poslední revize 11.11.2004. Dostupné z <<http://www.boldis.cz/citace/citace2.pdf>>

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Sylva Drábková, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Dr. Ing. Lumír Hružík
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Ostrava dne 16.5.2016.....

Tomáš Fyřák.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 16.5.2016.....



Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Tomáš Fryštacký

Adresa trvalého bydliště autora práce:

Okružní 1775/39, Hlučín 748 01

Abstrakt

Práce se zaměřuje na úpravy vodohospodářského systému v obci Ovesná Lhota v návaznosti na změnu koncepce zásobování pitnou vodou a provozování dvou stávajících vodojemů. Součástí je návrh objemu vodojemu 1 z důvodů navýšení spotřeby pitné vody a změny v jeho využívání, hydraulický výpočet potrubí a výběr vhodných čerpadel do čerpací stanice ČS2 a pro čerpací stanici vodojemu 2 zásobující zemědělský areál pitnou vodou. Pro zásobování horního tlakového pásma byl proveden návrh automatické tlakové stanice.

Abstract

The thesis is focused on the treatment of the water management system in the village of Ovesná Lhota following the change in the concept of drinking water supply and operation of two existing reservoirs. It includes a proposal for reservoir volume 1 due to the increase in drinking water consumption and changes in its use, hydraulic calculation of pipelines and selection of appropriate pumps in the pumping station ČS2 and pumping station in reservoir 2 supplying drinking water to the agricultural area. To supply the upper pressure zone of the village, automatic pressure stations was proposed.

Klíčová slova

Potrubí, Ztráty, Vodojem, Hydrodynamická čerpadla, Pitná voda, Zemědělský areál, Y-Q charakteristika, Ovesná Lhota

Keywords

Pipes, Losses, Water tank, Hydrodynamic pumps, Drinking water, Agricultural area, Y-Q characteristics, Ovesná Lhota

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucí své bakalářské práce, paní doc. Ing. Sylvě Drábkové, Ph.D. za odbornou pomoc a svědomitý přístup během vypracovávání bakalářské práce.

Obsah

Seznam použitého značení.....	10
Úvod.....	12
1 Doprava kapalin.....	12
2 Definice čerpacího systému.....	13
2.1 Funkce čerpacího systému	13
2.2 Hlavní parametry čerpání	14
2.2.1 Objemový průtok	14
2.2.2 Měrná energie	14
2.2.3 Další parametry čerpacího systému	16
3 Čerpadla.....	20
3.1 Rozdělení čerpadel	20
3.1.1 Hydrostatická čerpadla	22
3.1.2 Hydrodynamická čerpadla	22
4 Regulace čerpacího systému.....	24
4.1 Otáčková regulace	24
4.2 Škrčení na výtlaku.....	26
4.3 Stočení oběžného kola.....	26
5 Automatické tlakové stanice.....	27
5.1 Popis a základní typy ATS	28
6 Návrh čerpadel pro vodohospodářský systém obce Ovesná Lhota	29
6.1 Obec Ovesná Lhota	29
6.2 Popis vodovodního stavu obce	29
6.3 Popis vodovodních řádů	29
6.4 Spotřeba pitné vody v obci Ovesná Lhota	30
6.5 Cíl bakalářské práce	31
7 Návrh úprav vodohospodářského systému	31
7.1 Návrh vodojemu.....	31
7.2 Volba typu čerpadla	32
7.3 Výpočet tlakových ztrát v potrubí.....	32
8 Výpočty úprav vodohospodářského systému	33
8.1 Doba plnění vodojemu 10 hodin.....	33
8.1.1 Výpočet objemu vodojemu.....	33
8.1.2 Výpočet měrné energie přívodního potrubí	35

8.1.3	Výpočet měrné energie provozního bodu:.....	37
8.1.4	Volba čerpadla:	37
8.1.5	Určení pracovního bodu systému	38
8.2	Doba plnění 12 hodin	42
8.2.1	Výpočet objemu vodojemu	42
8.2.2	Výpočet tlakových ztrát	44
8.2.3	Výpočet měrné energie provozního bodu:.....	46
8.2.4	Volba čerpadla:	47
8.2.5	Určení pracovního bodu systému	47
8.3	Doba plnění 13 hodin	50
8.3.1	Výpočet objemu vodojemu	50
8.3.2	Výpočet tlakových ztrát	52
8.3.3	Výpočet měrné energie provozního bodu:.....	54
8.3.4	Volba čerpadla:	55
8.3.5	Určení pracovního bodu systému	55
8.4	Výsledné porovnání čerpadel	56
8.5	ATS pro horní tlakové pásmo	57
8.5.1	Výpočet tlakových ztrát v horním tlakovém pásmu	57
8.5.2	Volba ATS	62
8.6	Výběr nového čerpadla pro zemědělský areál	64
9	Zhodnocení práce	66
	Seznam obrázků	67
	Seznam tabulek	67
	Seznam grafů	67
	Přehled použitých zdrojů	68
	Seznam příloh	69

Seznam použitého značení

Značka	Význam	Jednotka
D	Průměr oběžného kola	[m]
K	Relativní drsnost	[m]
$NPSH$	Čistá kladná nátoková výška	[m]
P_H	Hydraulický výkon čerpadla	[W]
P	Příkon čerpadla	[W]
Q	Objemový průtok	[m ³ .s ⁻¹]
S	Průřez potrubí	[m ²]
Y	Měrná energie	[J. kg ⁻¹]
Y_p	Měrná energie potrubí	[J. kg ⁻¹]
Y_{STAT}	Statická složka měrné energie	[J. kg ⁻¹]
Y_{DYN}	Dynamická složka měrné energie	[J. kg ⁻¹]
c_s	Rychlost kapaliny v sacím potrubí	[m.s ⁻¹]
d	Průměr potrubí	[m]
dt	Čas	[s]
dV	Objem kapaliny	[m]
g	Gravitační zrychlení	[m.s ⁻²]
h	Dopravní výška	[m]
h_s, h_v	Výška sacího/výtlačného potrubí	[m]
h_{zs}, h_{zv}	Ztrátová výška v sacím/výtlačném potrubí	[m]
h_{sdov}	Dovolená sací výška	[m]
h_z	Ztrátová výška	[m]
l	Délka potrubí	[m]
n	Otáčky	[min ⁻¹]
n_b	Rychloběžnost	[1]
n_q	Měrné objemové otáčky	[min ⁻¹]
n_s	Měrné výkonové otáčky	[min ⁻¹]
p_{sn}	Tlak hladiny v sací nádrži	[Pa]
p_{SN}, p_{VN}	Tlak v sací/výtlačné nádrži	[Pa]
p_w	Tlak nasycených par	[Pa]
v	Rychlost proudění kapaliny	[m.s ⁻¹]
Δy_{dov}	Dovolená kavitační deprese	[J. kg ⁻¹]
Δy_{krit}	Kritická kavitační deprese	[J. kg ⁻¹]

η_C	Celková účinnost	[1]
η_H	Hydraulická účinnost	[1]
η_M	Mechanická účinnost	[1]
η_V	Objemová účinnost	[1]
λ	Třecí součinitel	[1]
ξ	Ztrátový součinitel	[1]
ρ	Hustota kapaliny	[kg. m ⁻³]

Úvod

Kde je voda, tam je život. Zásobování vodou je životně důležitá věc. V místech, kde se nenachází voda z přírodních zdrojů a není ani zajištěna dodávka vody vodovodním potrubím, se nedá plnohodnotně žít. Na dostatku vody jsou závislí jak lidé, tak živočichové a rostliny. Dostatek vody je jedním z faktorů umožňujících rozvoj měst a průmyslu. Pro zásobování obyvatel pitnou vodou se využívá voda z řek, která nateče do uměle vytvořených přehrad. Také se využívají zdroje spodní vody, ke kterým se hloubí studny. Takto získaná voda se upravuje a čistí v úpravnách vody, aby splňovala kritéria pitné vody a nebyla zdravotně závadná. Kolem vodních zdrojů pitné vody jsou vytvořena ochranná pásma, která zakazují používání chemikálií v okolí tohoto zdroje, aby nedošlo k jeho kontaminaci. Pro dostatečné zásobování vodou je potřeba navrhnout vodovodní síť, která nám pokryje odběry uživatelů a bude mít dostatečné rezervy vody pro případ poruchy nebo havárie. [1]

1 Doprava kapalin

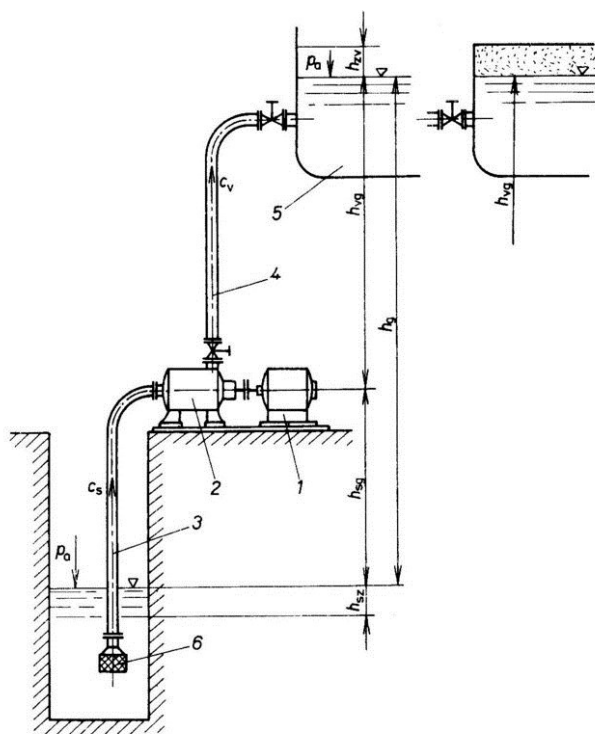
Doprava kapalin v přírodě probíhá gravitačně, kdy kapalina teče z míst s vyšší nadmořskou výškou do míst s nižší nadmořskou výškou. U tohoto způsobu se říká, že kapalina teče samospádem, v přírodě je tento případ proudění u řek, kde voda teče v korytu řek. Kapalina se ale nedopravuje jen z míst výše položených do míst níže položených, ale i opačně. V tomto případě musíme u kapaliny zvýšit její tlakovou a kinetickou energii i pro překonání výškového rozdílu a ztrát při proudění kapaliny. Pro dopravu kapalin z míst s nižší nadmořskou výškou do míst s vyšší nadmořskou výškou se používá potrubních rozvodů. Potrubní rozvody se používají i pro rozvod kapaliny po městech, továrnách a na všech dalších místech, kam chceme kapalinu dopravovat.

Během dopravy kapaliny v potrubních rozvodech rozeznáváme několik druhů proudění. Za prvé, laminární proudění, nebo-li uspořádané proudění, které je typické pro malé rychlosti proudění a proudnice charakterizující toto proudění jsou souběžné a navzájem se neprotínají.

Při větších rychlostech proudění nastává turbulentní proudění, které ve své podstatě je neustálené, nestacionární, chaotické. U tohoto proudění se veličiny charakterizující proudění mění v čase. Často je spojeno s tvorbou vírových struktur. Během provozu hydrodopravního systému může docházet k různým provozním stavům v důsledku režimu proudění, požadovaným parametrům a podmínkám práce čerpadla. Cílem návrhu čerpacího systému je volba optimálních parametrů čerpadla v návaznosti na daný potrubní systém. [1]

2 Definice čerpacího systému

Čerpací systém znázorněný na obr. 1 se skládá z několika hlavních částí. Tyto části můžeme označit jako aktivní nebo pasivní části, a dále jsou zde hranice čerpacího systému. Aktivní části energii systému dodávají a pasivní tuto energii spotřebovávají. Jako aktivní prvek je zde zařazen hydrogenerátor, který má za úkol zvýšit tlakovou a polohovou energii pro překonání hydraulických odporů při proudění reálné kapaliny v potrubí a pokrýt ztráty tohoto vedení.



1 – Elektro motor, 2 – Čerpadlo, 3 – Sací potrubí, 4 – Výtlačné potrubí,
5 – Výtlačná nádrž, 6 – Sací koš

Obrázek 1 - Čerpací systém [3]

Pasivní prvek reprezentuje potrubí, které se dělí na sací a výtlačné. Hranice čerpacího systému tvoří sací a výtlačná nádrž. Ze sací nádrže je kapalina sacím potrubím nasávána do hydrogenerátoru, které kapalinu dopraví do výtlačné nádrže. Tlaky na hladinách nádrží nám tvoří okrajové podmínky systému. [2], [3]

2.1 Funkce čerpacího systému

Úkolem čerpacího systému je dopravit kapalinu ze sací nádrže do výtlačné nádrže. Čerpadlo jako aktivní prvek je umístěno přímo v sací nádrži nebo mimo sací nádrž. Čerpadlo musí zajistit potřebný průtok a tlak kapaliny pro správnou funkci systému. Potrubí zde slouží k dopravě kapaliny. Sací potrubí má za úkol přivést kapalinu ze sací nádrže do čerpadla.

Výtlačné potrubí dopravuje kapalinu od čerpadla do výtlačné nádrže nebo k prvkům přeměňující její tlakovou a potenciální energii na mechanickou energii. Odpadní potrubí odvádí pracovní kapalinu zpět do sací nádrže. [2]

2.2 Hlavní parametry čerpání

Hlavními parametry čerpacího systému jsou průtok Q a měrná energie Y . Tyto parametry slouží pro výpočet charakteristik čerpacího systému a nalezení pracovního bodu systému. Charakteristiku a parametry čerpadla většinou udává výrobce. Pro určení pracovního bodu systému je nutné ještě určit parametry a charakteristiku potrubí. To se provádí výpočtem na základě znalosti objemu protékajícím potrubím, geodetických výšek a především stanovení hydraulických odporů při dopravě vazké kapaliny. [2]

2.2.1 Objemový průtok

Objemový průtok je jednou ze základních veličin, kterou musíme znát pro návrh hydraulického systému. Objemový průtok je důležitý parametr jak pro volbu čerpadla, tak pro volbu světlosti potrubí. Objemový průtok je definován jako objem kapaliny, která proteče za jednotku času v jednom místě celým průřezem potrubí. Objemový průtok lze také vypočítat, známe-li průřez potrubí S a okamžitou rychlost kapaliny v místě průřezu v . [2]

Vztahy pro výpočet průtoku Q .

$$Q = \frac{dV}{dt} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2.1)$$

$$Q = S \cdot v \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2.2)$$

Q	Objemový průtok $[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
dV	Objem kapaliny $[\text{m}^3]$
dt	Čas $[\text{s}]$
S	Průřez potrubí $[\text{m}^2]$
v	Rychlost proudění kapaliny $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$

2.2.2 Měrná energie

Měrná energie je důležitý parametr čerpacího systému. Tato energie vyjadřuje velikost energie v jednom kilogramu čerpané látky. Obecně je uvedena jako funkce objemového průtoku a určí se z energetické bilance čerpacího systému. [2] [4]

$$Y = g \cdot h \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (2.3)$$

Y	Měrná energie $[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$
g	Gravitační zrychlení $[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$
h	Dopravní výška $[\text{m}]$

Měrnou energii v hydraulických systémech určujeme pro čerpadlo i pro potrubí v závislosti na průtoku. Výpočtem čerpadla zjistíme, jakou měrnou energii při daném průtoku předá čerpadlo čerpané látce. Výpočtem měrné energie potrubí naopak určíme, kolik měrné energie při daném průtoku je potrubím spotřebováno. Je-li energie čerpadla a potrubí rovna $Y_{\text{č}} = Y_{\text{p}}$, pak nastává rovnováha čerpacího systému. V případě, že systém není v rovnováze a je měrná energie čerpadla větší než měrná energie potrubí $Y_{\text{č}} > Y_{\text{p}}$, pak čerpadlo generuje více energie, než je v potrubí spotřebováno. Přebytečná měrná energie se v tomto případě využívá pro zrychlení kapaliny. Nastane-li stav, kdy je měrná energie čerpadla menší než měrná energie potrubí $Y_{\text{č}} < Y_{\text{p}}$, čerpadlo nedodává kapalině dostatek energie a ta bude zpomalovat. Zrychlení i zpomalování kapaliny se děje do doby, než systém opět dosáhne rovnovážného stavu. Čerpací systém převážně pracuje v ustáleném stavu, kdy $Y_{\text{č}} = Y_{\text{p}}$ a tento stav budu zvažovat při návrhu čerpadel pro dané zadání.

Charakteristiku čerpadla udává výrobce, a proto v systémech počítáme hlavně měrnou energii potrubí, kterou ve výpočtech značíme Y_{p} . Na základě známého průtoku a vypočtené měrné energie lze sestavit charakteristiky čerpadla a potrubí a určit pracovní bod systému.

$$Y_{\text{p}} = \frac{p_{\text{SN}} + p_{\text{VN}}}{\rho} + g \cdot (h_{\text{s}} + h_{\text{v}}) + g \cdot (h_{\text{zs}} + h_{\text{zv}}) \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (2.4)$$

Y_{p}	Měrná energie potrubí $[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$
$p_{\text{SN}}, p_{\text{VN}}$	Tlak v sací/výtlačné nádrži $[\text{Pa}]$
ρ	Hustota kapaliny $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
g	Gravitační zrychlení $[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$
$h_{\text{s}}, h_{\text{v}}$	Výška sacího/výtlačného potrubí $[\text{m}]$
$h_{\text{zs}}, h_{\text{zv}}$	Ztrátová výška v sacím/výtlačném potrubí $[\text{m}]$

První dva členy této rovnice jsou na průtoku nezávislé a můžeme je zahrnout do statické složky měrné energie.

$$Y_{STAT} = \frac{p_{SN} + p_{VN}}{\rho} + g \cdot (h_s + h_v) \neq f(Q) \text{ [J.kg}^{-1}\text{]} \quad (2.5)$$

Y_{STAT} Statická složka měrné energie [J.kg⁻¹]

Třetí člen rovnice je již na průtoku závislý a používá se pro něj název dynamická složka měrné energie. Tento člen představuje velikost ztrátové energie při proudění skutečné kapaliny.

$$Y_{DYN} = g \cdot (h_{zs} + h_{zv}) = f(Q) \text{ [J.kg}^{-1}\text{]} \quad (2.6)$$

Y_{DYN} Dynamická složka měrné energie [J.kg⁻¹]

kde h_{zs} představuje ztrátovou výšku v sacím potrubí a h_{zv} ve výtlačném potrubí.

$$h_z = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2g} \text{ [m]} \quad (2.7)$$

h_z	Ztrátová výška [m]
λ	Třecí součinitel [1]
l	Délka potrubí [m]
d	Průměr potrubí [m]
ξ	Ztrátový součinitel [1]
v	Rychlost proudění kapaliny [m.s ⁻¹]
g	Gravitační zrychlení [m.s ⁻²]

Tento vzorec je platný pro sací i výtlačné potrubí, stačí pouze u všech veličin doplnit index s nebo v.

2.2.3 Další parametry čerpacího systému

Účinnost čerpadla

Čerpadlo jako každý stroj má vlastní účinnost, hodnotu účinnosti většinou udává výrobce. Správné čerpadlo by mělo dosahovat maximální účinnost v okolí pracovního bodu. Účinnost čerpadla je závislá na měrných otáčkách a průtoku Q . Účinnost lze vypočítat z hydraulického výkonu čerpadla a příkonu čerpadla. [2] [5]

$$\eta_C = \frac{P_H}{P} [1] \quad (2.8)$$

η_C	Celková účinnost [1]
P_H	Hydraulický výkon čerpadla [W]
P	Příkon čerpadla [W]

Rozlišujeme účinnost hydraulickou, mechanickou a objemovou.

$$\eta_C = \eta_H \cdot \eta_M \cdot \eta_V [1] \quad (2.9)$$

η_C	Celková účinnost [1]
η_H	Hydraulická účinnost [1]
η_M	Mechanická účinnost [1]
η_V	Objemová účinnost [1]

Hydraulická účinnost [5]

$$\eta_H = 1 - \frac{K}{\left(\frac{Q \cdot n_b}{n}\right)^{\frac{1}{6}}} [1] \quad (2.10)$$

η_H	Hydraulická účinnost [1]
K	Relativní drsnost [m]
Q	Objemový průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
n_b	Rychloběžnost [1]
n	Otáčky [s^{-1}]

Hydraulický výkon čerpadla [2] [5]

Je to výkon, který odevzdá čerpadlo kapalině.

$$P_H = \rho \cdot Q \cdot Y [W] \quad (2.11)$$

P_H	Hydraulický výkon čerpadla [W]
Q	Objemový průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
Y	Měrná energie [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$]

Příkon čerpadla [2] [5]

$$P = \frac{P_H}{\eta_C} [W] \quad (2.12)$$

P_H Hydraulický výkon čerpadla [W]

P Příkon čerpadla [W]

η_C Celková účinnost [–]

Dovolená sací výška

Určení dovolené sací výšky slouží proto, abychom eliminovaly vznik kavitace v čerpadle, která výrazně snižuje životnost čerpadla. Podle hodnoty dovolené geodetické sací výšky určíme umístění čerpadla. Je-li $h_{sdov} > 0$ čerpadlo je umístěno nad hladinou v sací jímce, je to tak zvaná Podtlaková dispozice. Je-li $h_{sdov} < 0$ je to tak zvaná Nátoková dispozice a podle druhu čerpadla lze čerpadlo umístit pod hladinu do suché nebo mokré jímky. Dovolenou sací výšku definujeme pro hladinu v sací nádrži a pro sací hrdlo čerpadla. Ztráty v sacím potrubím lze minimalizovat co nejkratší délkou sacího potrubí a minimálním počtem armatur na potrubí. Dovolená sací výška čerpadla je definována vztahem. [2]

$$h_{sdov} = \frac{p_{sn} - p_w}{\rho \cdot g} - h_{zs} - \frac{\Delta y_{dov}}{g} [m] \quad (2.13)$$

h_{sdov} Dovolená geodetická sací výška [m]

p_{sn} Tlak hladiny v sací nádrži [Pa]

p_w Tlak nasycených par [Pa]

ρ Hustota kapaliny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

g Gravitační zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

h_{zs} Ztrátová výška sacího potrubí [m]

Δy_{dov} Dovolená kavitační deprese [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$]

$$\Delta y_{dov} = 1,15 \cdot \Delta y_{krit} [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (2.14)$$

Δy_{dov} Dovolená kavitační deprese [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$]

Δy_{krit} Kritická kavitační deprese [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$]

Dovolenou sací výšku lze určit i za pomoci veličiny NPSH, která se překládá jako čistá kladná nátoková výška a používá se pro určení dostatečného tlaku v čerpadle. Vzorec pro výpočet dovolené sací výšky je potom definován:

$$h_{sdov} = \frac{p_{sn} - p_w}{\rho \cdot g} - h_{zs} - NPSH \quad [\text{m}] \quad (2.15)$$

h_{sdov}	Dovolená sací výška [m]
p_{sn}	Tlak hladiny v sací nádrži [Pa]
p_w	Tlak nasycených par [Pa]
ρ	Hustota kapaliny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
g	Gravitační zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]
h_{zs}	Ztrátová výška sacího potrubí [m]
$NPSH$	Čistá kladná nátoková výška [m]

Kavitační deprese

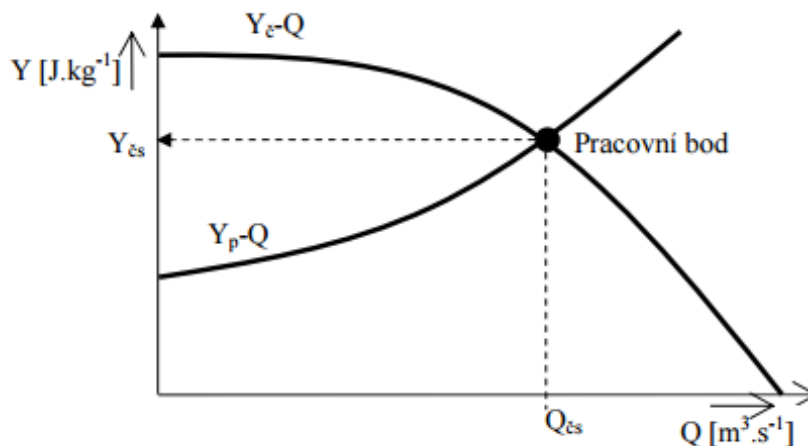
Na základě kavitační zkoušky lze určit hodnotu kritické kavitační deprese. Je to hodnota, při které nedochází v čerpadle ke kavitaci, určuje minimální dovolený tlak na vstupu do čerpadla. [5]

$$\Delta y_{krit} = \frac{p_{sn} - p_w}{\rho} - \frac{c_s^2}{2} \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (2.16)$$

Δy_{krit}	Kritická kavitační deprese [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$]
p_{sn}	Tlak hladiny v sací nádrži [Pa]
p_w	Tlak nasycených par [Pa]
ρ	Hustota kapaliny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
c_s	Rychlost kapaliny v sacím potrubí [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

Pracovní bod čerpacího systému

Pracovní bod je bod, který vznikne protnutím charakteristiky čerpadla a charakteristiky potrubí, jak je vidět na obr. 2. V tomto bodě je systém ve stabilním stavu, jelikož veškerá energie, kterou kapalině čerpadlo dodá, je spotřebována na dopravu kapaliny a pokrytí ztrát potrubí. V pracovním bodě jsou si měrné energie čerpadla a potrubí rovny $Y_{\check{c}} = Y_p$. Známe-li průtok Q protékající pracovním bodem, lze jej dosadit do jakékoliv charakteristiky a vypočítat tak měrnou energii v tomto bodě. Je vhodné, aby maximální účinnost čerpadla ležela v okolí pracovního bodu. [2]



Obrázek 2 - Pracovní bod čerpacího systému [2]

3 Čerpadla

Čerpadla jsou mechanická zařízení určená ke zvýšení pohybové, potenciální a tlakové energii kapaliny protékající čerpadlem. Ke svému pohonu využívají lidskou, zvířecí nebo mechanickou energii jiného zařízení, zpravidla elektromotoru. Čerpadla mění tuto energii na energii kapaliny. Čerpadlo je spojeno s okolními systémy (čerpacími systémy) hodnotami hydraulickými (Q, Y) a mechanickými (M, n). [2] [11]

3.1 Rozdělení čerpadel

Základním kritériem pro třídění, kvalifikaci, typizaci, návrh a zkoušení čerpadel je rychloběžnost. Nejvýznamnější kritéria podobnosti pro čerpadla jsou Strouhalovo a Eulerovo kritérium. Na základě těchto kritérií odvodíme rovnici rychloběžnosti. [4] [5] [11]

$$n_b = n \cdot \frac{Q^{0,5}}{Y^{0,75}} [1] \quad (3.1)$$

n_b	Rychloběžnost [1]
Q	Objemový průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
Y	Měrná energie [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$]

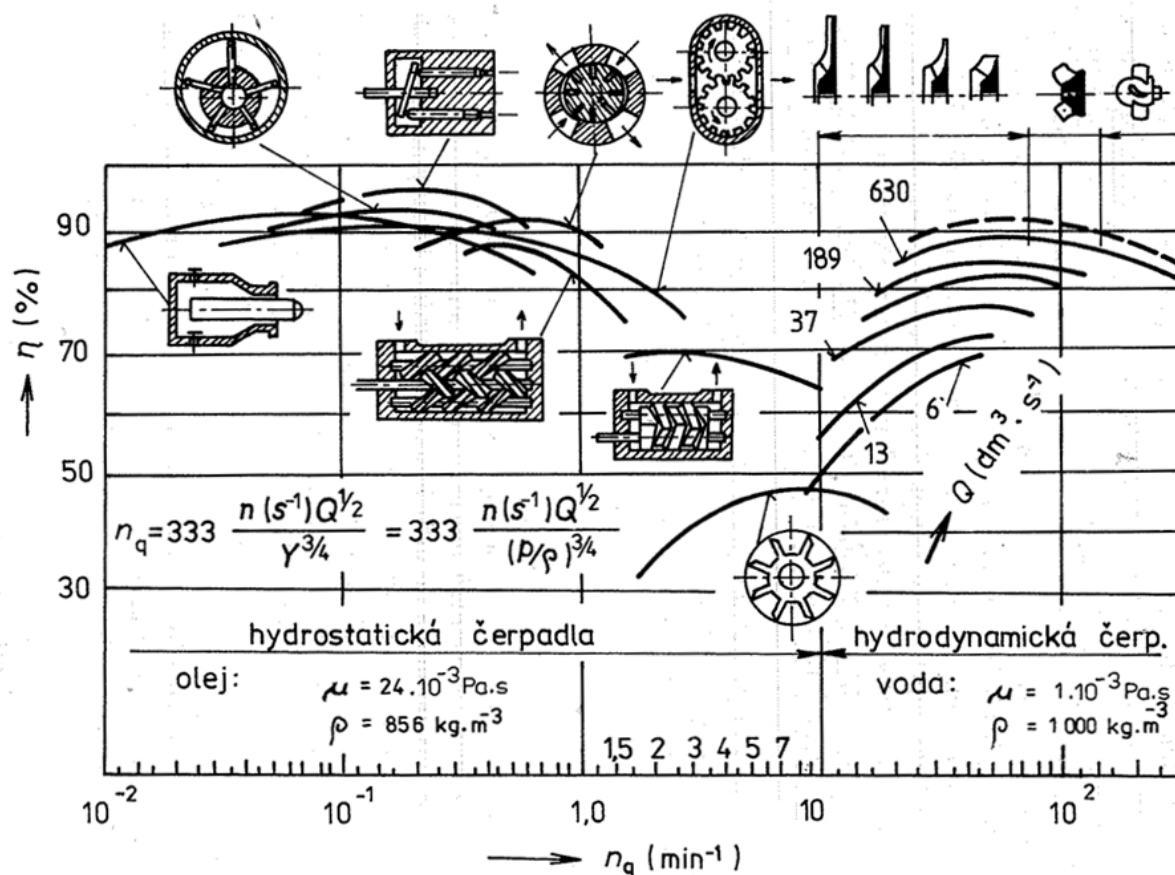
Dřívější formy tohoto kritéria byly odvozeny jako měrné výkonové otáčky n_s a měrné objemové otáčky n_q . Na základě měrných výkonových otáček n_s popřípadě měrných objemových otáček n_q nebo n_b , jsme schopni určit oblast použití čerpadla a kavitační vlastnosti. Dále z těchto členů jsme schopni určit prvky jako je tvar oběžného kola, přibližná charakteristika čerpadla a předpokládaná účinnost. Z obrázku je vidět, že jsme schopni rozdělit čerpadla podle n_q na dvě základní skupiny. První skupina čerpadel v rozmezí do

$n_q = 10$ se nazývá čerpadla hydrostatická a druhá skupina od $n_q = 10$ je skupina čerpadel nazývaná hydrodynamická viz. obr. 3. Dále lze čerpadla rozdělit podle n_s , na:

čerpadla radiální $\Rightarrow n_s = (35 \div 300) [\text{min}^{-1}]$

čerpadla diagonální $\Rightarrow n_s = (300 \div 550) [\text{min}^{-1}]$

čerpadla axiální $\Rightarrow n_s = (550 \div 1260) [\text{min}^{-1}]$



Obrázek 3 - Třídění typů čerpadel podle měrných objemových otáček [4]

Měrné výkonové otáčky [4]

$$n_s = 3,65 \cdot n_q [\text{min}^{-1}] \quad (3.2)$$

n_s Měrné výkonové otáčky $[\text{min}^{-1}]$

n_q Měrné objemové otáčky $[\text{min}^{-1}]$

Měrné objemové otáčky [4]

$$n_q = n \cdot \frac{Q^{0,5}}{H^{0,75}} [\text{min}^{-1}] \quad (3.3)$$

n_q Měrné objemové otáčky $[\text{min}^{-1}]$

n	Otáčky [min^{-1}]
Q	Objemový průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
H	Dopravní výška čerpadla [m]

3.1.1 Hydrostatická čerpadla

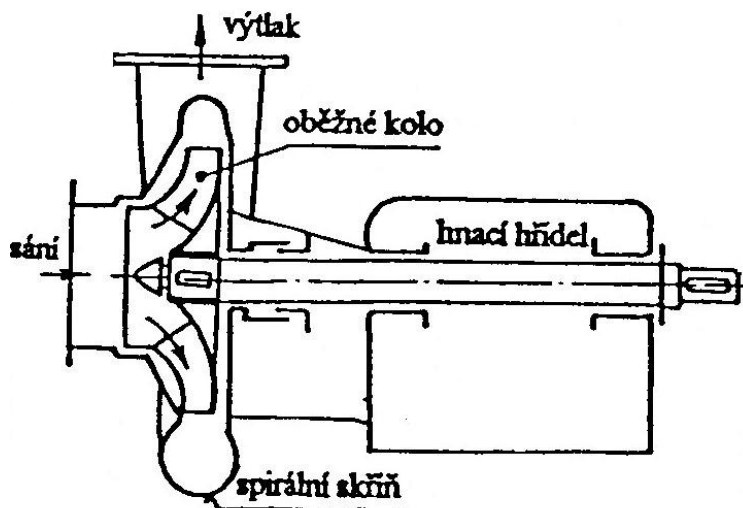
Těmto čerpadlům se taky říká objemová čerpadla. Princip těchto čerpadel spočívá v přímé přeměně mechanické energie na tlakovou energii kapaliny. Do této skupina čerpadel patří čerpadla pístová, membránová, zubová, lamelová a další. Hydrostatickým čerpadlům se dále nebudu věnovat, protože v řešení mé bakalářské práce využívám jen čerpadla hydrodynamická. [6][11]

3.1.2 Hydrodynamická čerpadla

Tato čerpadla pracují na principu nepřímé přeměny mechanické energie. Mechanická energie se nejprve mění na energii kinetickou, a tato energie se dále mění na energii tlakovou. K této přeměně energie dochází v difuzoru. Jestliže čerpadlo difuzor nemá, dochází k přeměně energie ve spirálové skřini, která se od vstupu postupně rozšiřuje. Ve výtlačném hrdle už převládá energie tlaková nad energii kinetickou. Průtok kapaliny čerpadlem je stálý a nedochází zde k pulzacím. U tohoto druhu čerpadel není potřeba větrník ani setrvačnick a tak mohou mít malé rozměry. Díky tomu nejsou náročné na prostor a jsou levnější. Tyto čerpadla jsou vhodná k regulaci. Hydrodynamická čerpadla se dále dělí podle měrných výkonových otáček na čerpadla radiální, axiální a diagonální.[2] [11]

Radiální čerpadla

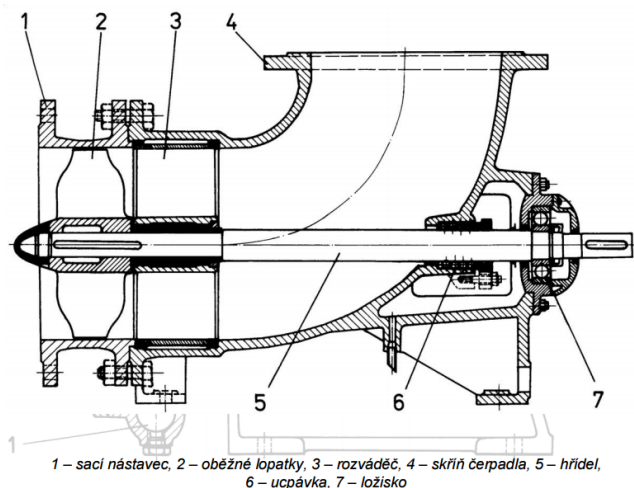
Radiální čerpadla známe také jako odstředivá čerpadla. Vstup kapaliny do čerpadla probíhá v axiálním směru a výstup kapaliny v radiálním směru, jak je vidět na obr. 4. Kapalina je dopravována pomocí působení odstředivé síly. Hnací hřídelí je poháněno oběžné kolo a lopatky oběžného kola odstředivě unáší kapalinu. Tento druh čerpadla je velice rozšířený a lze s ním čerpat čistou i znečištěnou vodu. Dosahují vysokých tlaků na výtlaku. Nejsou vodné pro dopravování přesného množství kapaliny. U tohoto typu čerpadla je úhel mezi sáním a výtlakem 90° . Radiální čerpadla mohou být konstruována jako jednostupňová nebo vícestupňová. [2] [7]



Obrázek 4 - Radiální čerpadlo [7]

Axiální čerpadla

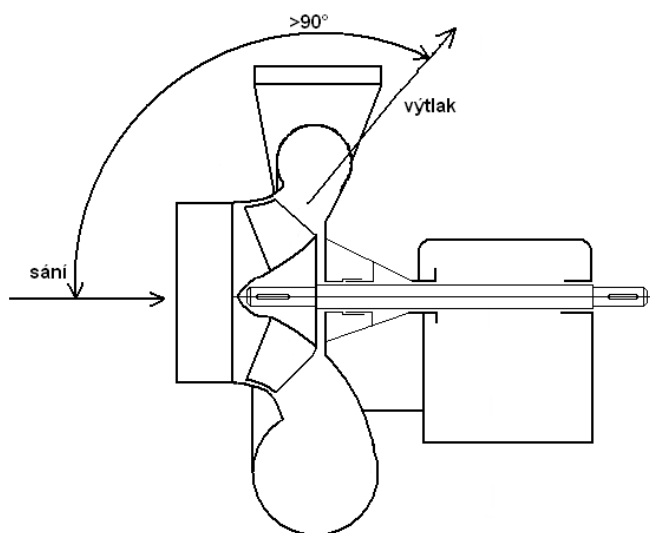
Axiální čerpadla obr. 5 se někdy označují názvem vrtulová čerpadla. Vstup i výstup kapaliny z čerpadla se děje ve směru axiálním, tedy rovnoběžně s osou. Oběžné kolo má dvě až čtyři lopatky. Lopatky jsou v náboji uloženy pevně nebo otočně. Axiální čerpadlo je podobné Kaplanově turbíně, pouze s rozdílem, že kapalina teče v opačném směru. Tato čerpadla jsou vhodná použít pro velké množství dopravované kapaliny do malých výšek. Výhodou čerpadel s otočně uloženými lopatkami je možnost jejich přímé regulace. Nevýhodou těchto čerpadel je horší sací schopnost. [11]



Obrázek 5 - Axiální čerpadlo [13]

Diagonální čerpadla

Diagonální čerpadla pracují na podobném principu jako radiální čerpadla. Kinetická energie je kapalině dodávána hlavně pohybem lopatek oběžného kola a jen částečně je unášena odstředivým pohybem. Kapalina do čerpadla vstupuje v axiálním směru, tedy rovnoběžně s osou a vystupuje ve směru diagonálním, šikmo na osu otáčení, jak je znázorněno na obr. 6. Tato čerpadla jsou vhodná pro dopravu velkého průtoku kapaliny do menších až středních výšek. Úhel mezi sáním a výtlačkem je u tohoto typu čerpadla větší než 90° . [11]



Obrázek 6 – Diagonální čerpadlo[11]

4 Regulace čerpacího systému

4.1 Otáčková regulace

Otáčková regulace se uvádí jako nejefektivnější možnost regulace výkonu čerpadla, u kterého je potřeba měnit průtok. Využívá se u hydrogenerátorů s elektrickým pohonem a měničem frekvencí. U této regulace se nemění průměr oběžného kola. Jestliže vezmeme do úvahy velikost elektromotoru, který jsme použili, můžeme zvýšením otáček zvýšit výkonový rozsah čerpadla. Tato regulace spadá do oblasti, ve které jsou využity zásady hydraulické podobnosti. Tyto zásady mají tři složky: geometrickou, kinematickou a dynamickou.

Kinematická podobnost je podobnost rychlostních trojúhelníků. Dynamická podobnost zaručuje v daném rozmezí regulace stejnou hodnotu účinnosti v bodech, které jsou sdružené pomocí afinních vztahů a leží na parabole procházející počátkem. Z rovnice popisující výkon je zřejmé, že účinnost čerpadla je při obou daných otáčkách stejná. Průtok hydrogenerátoru Q

je lineárně závislý na otáčkách n . Měrná energie hydrogenerátoru Y je úměrná na druhé mocnině jeho otáček n , kdežto výkon P je úměrný (závisí na) třetí mocnině otáček. V afinních bodech platí předpoklad stejné účinnosti. Tento předpoklad s nejvyšší přesností zajistíme v oblasti regulace kolem optima. [2] [5]

V reálném případě nastane mírný pokles účinnosti. Účinnost při snížených otáčkách až na 50% maximálních otáček lze odhadnout ze vzorce:

$$\eta' = 1 - (1 - \eta_n) \cdot \left(\frac{n}{n'}\right)^{0,1} \quad [1] \quad (4.1)$$

n Původní otáčky čerpadla [s^{-1}]

n' Změněné otáčky čerpadla [s^{-1}]

η Původní účinnost čerpadla při otáčkách n [1]

Z kinematické podobnosti vycházejí afinní vztahy pro přepočty otáček. Následující vztahy platí pouze, je-li dodržen rozsah regulace. Značka bez apostrofu znamená hodnotu veličiny před regulací, značka s apostrofem značí hodnotu veličiny po regulaci.

$$0,5 < \frac{n}{n'} < 2 \quad (4.2)$$

Vztah pro přepočet průtoku Q :

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{n}{n'} \quad (4.3)$$

Vztah pro přepočet měrné energie Y :

$$\frac{Y}{Y'} = \left(\frac{n}{n'}\right)^2 \quad (4.4)$$

Vztah pro přepočet příkonu P :

$$\frac{P}{P'} = \left(\frac{n}{n'}\right)^3 \quad (4.5)$$

Vztah pro přepočet kroutícího momentu M :

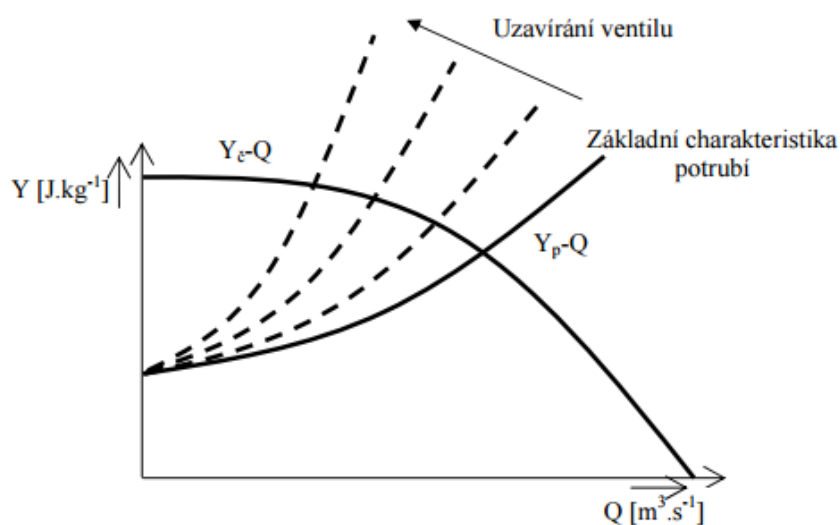
$$\frac{M}{M'} = \left(\frac{n}{n'}\right)^2 \quad (4.6)$$

Vztah pro přepočet měrné kavitační energie y

$$\frac{\Delta y}{\Delta y'} = \left(\frac{n}{n'}\right)^2 \quad (4.7)$$

4.2 Škrcení na výtlaku

U tohoto typu regulace dochází ke změně strmosti charakteristiky potrubí, jak je znázorněno na obr. 7 a tím k následné změně pracovního bodu čerpacího systému. Na výtlačné potrubí těsně za čerpadlo je umístěna škrťací armatura, která reguluje průtok. Regulaci průtoku dochází k zmíněné změně charakteristiky potrubí. Tento systém není energeticky výhodný, protože významné množství energie se maří na škrťací armatuře a mění se v teplo. Tento způsob je nejjednodušší způsob regulace. Charakteristika potrubí má základní tvar při plně otevřené škrťací armatuře. Strmost charakteristiky potrubí stoupá v důsledku nárůstu místních ztrát při uzavírání škrťací armatury. I přes již zmiňovanou energetickou nevýhodnost je tento typ regulace používán hlavně z důvodů jednoduchosti a nízké ceny u malých a jednoduchých čerpacích systémů. [2]



Obrázek 7 - Charakteristika škrcení na výtlaku [2]

4.3 Stočení oběžného kola

Stočení oběžného kola čerpadla je nevratná změna charakteristiky čerpadla obr. 8. V tomto případě regulace se jedná pouze o snížení parametrů čerpadla, nejde zde o navýšení parametrů. Stočení oběžného kola se provádí na soustruhu, a to osoustružením vnějšího průměru kola. Tato změna se musí provést před instalací čerpadla do hydraulického systému. Průměr kola by se neměl měnit o více než 10%, aby nedocházelo k výraznému poklesu účinnosti čerpadla. Následující vztahy jsou přibližné a umožňují přibližný přepočítání Q a Y k průměru oběžného kola D . Přesný průběh charakteristiky získáme měřením. Index 1 u veličiny značí hodnoty před stočením oběžného kola a index 2 u veličiny znamená hodnota veličiny po stočení oběžného kola. [2] [12]

$$\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{Y_1}{Y_2} \quad (4.8)$$

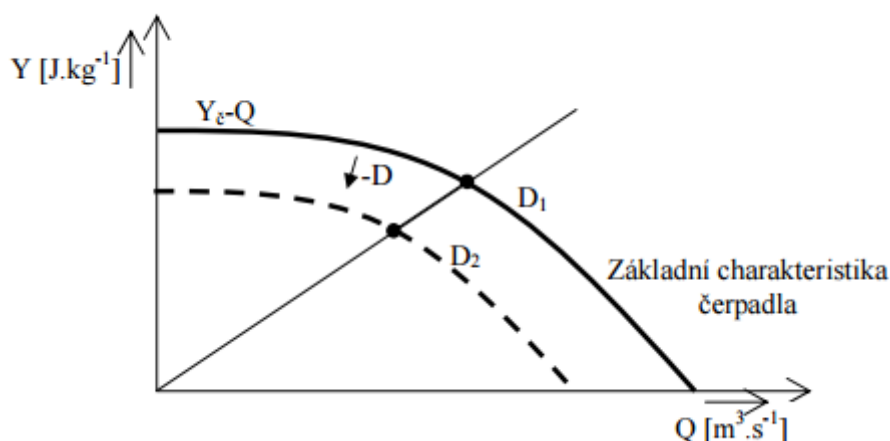
Úpravou rovnice lze získat průměr oběžného kola po osoustružení.

$$D_2 = D_1 \cdot \sqrt{\frac{Q_2}{Q_1}} ; D_2 = D_1 \cdot \sqrt{\frac{Y_2}{Y_1}} \quad (4.9)$$

D Průměr oběžného kola [m]

Q Objemový průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Y Měrná energie [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$]



Obrázek 8 - Charakteristika stočení oběžného kola [2]

5 Automatické tlakové stanice

Automatické tlakové stanice (ATS) jsou určeny ke zvyšování tlaku ve vodovodním potrubí tam, kde nelze zásobování vodou zajistit gravitačně, případně pokud nelze zajistit požadovaný přetlak v koncových odběrných uzlech. ATS jsou samostatné provozní jednotky, obvykle jsou tvořeny sestavou vertikálních či horizontálních čerpadel, tlakové nádoby a příslušenství. Jejich použití je vhodné tam, kde není účelné budování akumulčního objektu na straně spotřeby vody, tj. vodojemu. Samostatně zásobují tlaková pásma s malou potřebou vody.

ATS v zásadě udržují konstantní tlak nebo tlak kolísající v malém rozsahu, při velkém rozsahu odběru vody (Q). Rozsah Q závisí na druhu a velikosti spotřebiště. Automatické tlakové stanice jsou určeny pro čerpání a zvyšování tlaku čisté vody v následujících provozních aplikacích: vodárny, obytná zástavba, rekreační oblasti, průmyslové areály, nemocnice, školy apod.

Standardně se automatické tlakové stanice dodávají se dvěma až šesti čerpadly, která pracují v paralelním zapojení a jsou umístěna na společném základovém rámu včetně všeho příslušenství a rozvaděče. [8] [10]

Výhody a nevýhody ATS

Výhody:

- nižší investiční náklady ve srovnání s výstavbou vodojemu
- malé nároky na prostor
- hygienické důvody (voda nepřijde do přímého styku s ovzduším)
- rychlá a jednoduchá montáž
- konstantní tlak v systému při kolísavém i stejnoměrném odběru vody
- vysoce účinné, spolehlivé

Nevýhody:

- strojní vybavení je nutné dimenzovat na špičkovou potřebu
- při přerušení dodávky elektrického proudu je téměř současně přerušena dodávka vody
- při menší vydatnosti zdroje je nutno vybudovat akumulární nádrž zdroje
- spotřeba elektrické energie je větší než při čerpání do vodojemu

5.1 Popis a základní typy ATS

V současné době jsou v zásadě 2 typy automatických tlakových stanic. Jejich rozdíl je v odlišném udržování tlaku, respektive průtoku, v systému za ATS:

- ATS s tlakovou nádobou a kaskádovým spouštěním čerpadel,
- ATS s frekvenčním měničem, kterým se reguluje výkon, změnou charakteristiky čerpadla (bez tlakové nádoby).

ATS s tlakovou nádobou a kaskádovým spouštěním čerpadel funguje na principu, že jednotlivá čerpadla jsou postupně spouštěna podle potřebného odběru. Jednotlivá čerpadla se postupně zapínají po dosažení jejich spínacího tlaku a vypínají při dosažení vypínacího tlaku.

U ATS s frekvenčním měničem je princip takový, že jedno čerpadlo pracuje jako regulační a mění svojí charakteristiku. Od velikosti odběru, kterou nejsme schopni pokrýt jedním čerpadlem, se zapíná další čerpadlo (neregulační) a u regulačního výkon poklesne, tak abychom se dostali na požadovanou hodnotu odběru. [10]

6 Návrh čerpadel pro vodohospodářský systém obce Ovesná Lhota

6.1 Obec Ovesná Lhota

Obec Ovesná Lhota leží nedaleko města Světlá nad Sázavou v kraji Vysočina. V obci trvale žije 213 obyvatel. Většina obyvatel je napojena na vodovod. Výrazným odběratel vody je místní zemědělský areál s 25 zaměstnanci a téměř 600 kusy dobytka. Obec se nachází v území s nadmořskou výškou od 518 do 555 m.n.m.

6.2 Popis vodovodního stavu obce.

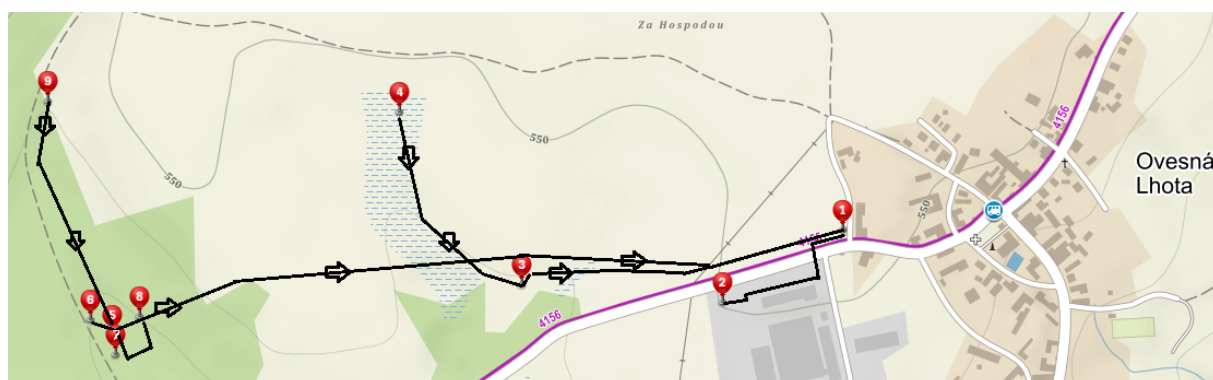
Samotná obec je rozdělená na dvě pásma, a to horní tlakové pásmo, které zásobuje obyvatelstvo ve výše položené části vesnice a dolní tlakové pásmo, které zásobuje obyvatelstvo v níže položené části vesnice, ve kterém voda proudí gravitačně. Každé tlakové pásmo zásobuje přibližně stejný počet obyvatel a dělí tedy spotřebu vody pro obyvatele na dvě poloviny. Na území obce a zemědělského areálu se nachází dva vodojemy, z nichž vodojem v zemědělském družstvu má větší objem. V dřívějších dobách byl vodojem 2 umístěn v zemědělském areálu a využíván pro zásobování obyvatelstva a rovněž jako požární nádrž pro tento areál. Vodojem 2 byl napájen ze studen S3, S4, S5, S6. Voda z těchto studní byla pomocí čerpací stanice ČS2 čerpána přívodním řádem 2 přímo do tohoto vodojemu o objemu 150 m³. Vesnice byla zásobována vodou ze studní S1 a S2 a voda z nich byla do vodojemu 1 o objemu 50 m³ dopravována pomocí čerpací stanice ČS1 a přívodního řádu 1.

Po privatizaci zemědělského areálu vodovodní hospodářství jak v obci, tak i v zemědělském areálu spravuje obec. Vodojem 2 se používá jen pro zemědělský areál. Změny postihly i přívodní řády a přívodní řád 1 a 2 byly propojeny a nyní čerpají vodu do vodojemu 1 umístěného na území obce. Ze zdrojů pitné vody zůstaly v provozu pouze studny, které spadají pod čerpací stanici ČS2. Čerpací stanice ČS1 a study S1 a S2 byly odstaveny a již se nepoužívají. V dnešní době je voda čerpána jen do vodojemu 1 a následně z něj přepadem přetéká do vodojemu 2, ze kterého je zásobován zemědělský areál.

6.3 Popis vodovodních řádů

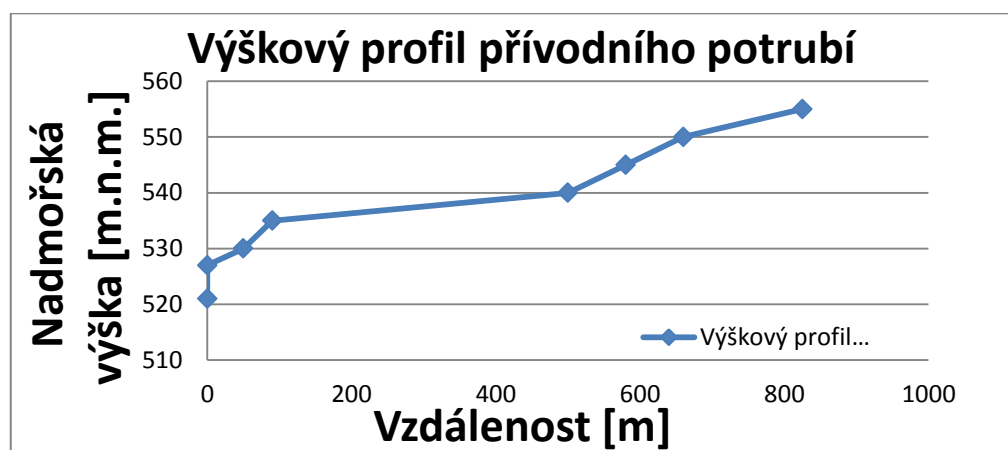
Ve vodovodním hospodářství obce Ovesná Lhota se v provozních řádech objevuje několik různých rozměrů potrubí. Rozměry potrubí se pohybují v rozmezí od průměru DN50 až po průměr DN125. Materiály potrubí se také liší a používají se zde materiály jako ocel, PE, PVC a litina. Celková délka vodovodních řádů je 4667 m. Je zřejmé, že vodovodní síť byla budována v odlišných časových obdobích a částečně v průběhu let inovována. Pro odvětrání a odkalení je potrubí v nejnižších i v nejvyšších místech a na konci vodovodních řádů osazeno hydranty, které slouží i jako požární hydranty. Pro možnost uzavření jednotlivých řádů jsou v potrubí osazeny sekční šoupátka. Rozmístění jednotlivých studní,

čerpacích stanic a tras potrubí je vidět na obr. 9. Popis a trasy vodovodních řádů jsou umístěny v přílohách A., B., C.



1 - Vodojem 1, 2 - Vodojem 2, 3 - Čerpací stanice 1, S1, 4- S2, 5 - Čerpací stanice 2, 6 - S4, 7 - S3, 8 - S5, 9 - S6

Obrázek 9 – Vodovodní hospodářství Ovesná Lhota



Graf 1 – Výškový profil přívodního potrubí

6.4 Spotřeba pitné vody v obci Ovesná Lhota

Do roku 2012 se průměrná spotřeba pitné vody pohybovala okolo 50 m³ na den. Maximální denní spotřeba vyjde vynásobením průměrné denní spotřeby koeficientem denní nerovnoměrnosti. Hodnota maximální denní spotřeby je 75m³ za den. Z průměrné spotřeby pitné vody za den připadla obci spotřeba necelých 30 m³ vody na den a zemědělskému areálu přes 20 m³ za den. Hodnoty spotřeby vody vychází z předpokladů, že obec má 213 trvalých obyvatel a každý z nich denně spotřebuje 230 litrů. Tato hodnota se ještě násobí koeficientem denní nerovnoměrnosti 0,6. Hodnoty spotřeby pitné vody v zemědělském areálu vychází z předpokladu, že zemědělský areál zaměstnává 25 osob a tyto osoby v práci za den spotřebují 120 litrů vody. Další spotřeba vody se připisuje dobytku v zemědělském areálu, ve kterém je chováno necelých 600 kusů dobytka. Dobytek denně spotřebuje okolo 18 m³ vody. V roce 2012 došlo k náhlému zvýšení spotřeby pitné vody, a to z dosavadních 50 m³ za den na

nynějších 100 m^3 za den. Hodnota maximální denní spotřeby se vyšplhala na hodnotu 150 m^3 za den. Tento výrazný nárůst spotřeby pitné vody způsobil nárůst odběru pitné vody v zemědělském areálu. Tento poznatek vyplynul z měření spotřeby v zemědělském areálu. Na nárůst spotřeby pitné vody je třeba reagovat, a proto je nutné vodovodní hospodářství obce Ovesná Lhota rekonstruovat tak, aby byly splněny požadavky vyšší spotřeby.

6.5 Cíl bakalářské práce

Cílem mé bakalářské práce je seznámit se s problematikou vodovodního hospodářství v obci Ovesná Lhota a navrhnout varianty, jak tento problém vyřešit. První důležitý problém, který řeším, spočívá v návrhu nového vodojemu. Vodojem 1, který je nyní využíván jako hlavní, začíná být ve špatném technickém stavu a jeho kapacita je nedostatečná v důsledku nárůstu spotřeby. Proto je prvním z cílů výpočet nového objemu tohoto vodojemu.

Zde se dostávám k druhému důležitému bodu, a to je návrh vhodného čerpadla do čerpací stanice ČS2. Čerpadlo musí dosahovat požadovaných parametrů potřebných k naplnění vodojemu za udávaný čas, tak aby vodovodní hospodářství obce stačilo pokrýt denní spotřebu pitné vody.

Třetím bodem je výpočet tlakových ztrát ve vodovodních rozvodech v obci. Tlakové ztráty počítám pro horní tlakové pásmo, pro které navrhuji automatickou tlakovou stanici.

Poslední částí je volba vhodného regulačního čerpadla do čerpací stanice ve vodojemu 2 z důvodů nárůstu spotřeby v zemědělském areálu.

7 Návrh úprav vodohospodářského systému

7.1 Návrh vodojemu

Prvním úkolem mé bakalářské práce je navrhnout objem vodojemu, tak aby jeho objem dokázal pokrýt nárůst spotřeby v obci. Maximální denní spotřeba vody stoupla z původních $75 \text{ m}^3/\text{den}$ na nynějších $150 \text{ m}^3/\text{den}$. Veškerá voda z čerpací stanice ČS2 přitéká do vodojemu 1 a následně z něj je rozdělována pro potřeby obyvatel a zemědělského areálu. Budu tedy navrhovat objem vodojemu 1. Hlavní parametr, ze kterého při návrhu vodojemu vycházím, je maximální denní spotřeba vody. Tuto hodnotu dostaneme vynásobením průměrné denní spotřeby vody koeficientem 1,5. [9] Průměrná denní spotřeba vody v obci Ovesná Lhota byla $Q_D = 50194 \text{ l/den}$ po navýšení spotřeby v roce 2012 je průměrná denní spotřeba v obci $Q_D = 100194 \text{ l/den}$. Po vynásobení této hodnoty daným koeficientem získám výchozí hodnotu pro návrh vodojemu. Získám hodnotu maximální denní spotřeby vody $Q_{MAXD} = 150291 \text{ l/den}$.

Další parametr pro návrh vodojemu je doba jeho plnění. Protože rychlost v přírodním potrubí by neměla být menší než 1 m/s , zvolil jsem tři rozdílné doby plnění. Nejkratší doba plnění vodojemu je 10 hodin, prostřední 12 hodin a nejdelší 13 hodin. U nejdelší doby plnění 13 hodin se blíží k hranici, kdy rychlost proudění kapaliny v potrubí dosahuje téměř 1 m/s , proto jsem už nevolil delší dobu plnění vodojemu. Díky rozdílné době plnění mi vyšly i rozdílné objemy vodojemů a to v rozmezí od 98 m^3 do 90 m^3 . Výsledný objem vodojemu v sobě zahrnuje i rezervy objemů vody, a to pro případ poruchy ve vodovodním hospodářství a pro hašení požáru. Objem vodojemu dle normy ČSN 75 5355 by měl být v rozmezí od 60 do 80 % z maximální denní spotřeby vody.

7.2 Volba typu čerpadla.

Typ čerpadla volím podle umístění čerpadla. Čerpadlo je osazeno ve studni pod hladinou vody, z tohoto důvodu jsem volil vertikální ponorné čerpadlo. Parametry čerpadla jsem volil na základě potřebného dopravovaného objemu a dopravní výšky. Velikost dopravovaného objemu jsem dostal z výpočtu velikosti objemu vodojemu a hodnota tohoto parametru se odvíjí od doby plnění vodojemu. Dopravní výšku získám určením výškových rozdílů hladin ve studni, ve které je čerpadlo osazeno a výšky hladiny ve vodojemu, kde vodu čerpám. Hladinu výšky vody ve studni jsem určil orientačně odečtením nadmořské výšky studny v mapách a odečtením hodnoty osazení čerpadla ve studni. Nadmořská výška pro hladinu ve studni mi vyšla 526 m.n.m.

Hladinu vody ve vodojemu znám, udává se ve zprávě vodovodního hospodářství Ovesná Lhota a v závislosti na odběru hladina ve vodojemu kolísá v rozmezí od $557,1 \text{ m.n.m.}$ v případě maximální hladiny až po hodnotu $554,7 \text{ m.n.m.}$ určující výšku minimální hladiny ve vodojemu. Z rozdílů výšek hladin a přičtením velikosti ztrát proudění kapaliny v potrubí dostanu výslednou dopravní výšku. Pak tedy na základě velikosti průtoku a dopravní výšce určím vhodný typ čerpadla. Tato čerpadla budou dodávat konstantní průtok.

7.3 Výpočet tlakových ztrát v potrubí.

Pro určení vhodné čerpadla pro vodovodní systém je nezbytné spočítat ztráty ve vedení. Ztráty v potrubí nám taky určují výslednou charakteristiku potrubí., proto je důležité tyto ztráty spočítat. Musíme znát délku a výškový profil potrubí, místní ztráty, velikost třecího součinitele, hodnotu průtoku a dynamickou viskozitu látky protékající potrubím. Výsledné ztráty jsem počítal podle rovnic dvou autorů, a to podle Blasia a Moodyho. Ve výpočtech ztrát byl původně zahrnut i výpočet podle Churchila, ale takto vypočtené hodnoty se výrazně lišily od hodnot spočítaných podle autorů Blasia a Moodyho. Z těchto důvodů jsem výpočet podle Churchila odstranil z konečných výpočtů a neuvádím jej v mé práci.

8 Výpočty úprav vodohospodářského systému

8.1 Doba plnění vodojemu 10 hodin

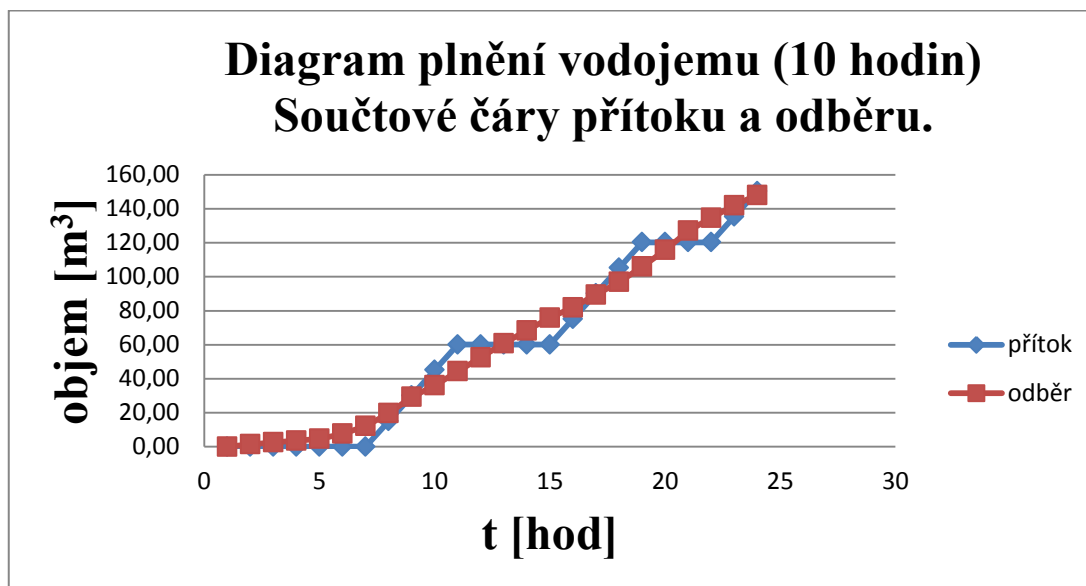
8.1.1 Výpočet objemu vodojemu.

Doba plnění vodojemu 10 hodin								
Hodina	K_h	Hodinová potřeba vody	Přítok	Odběr	Přebytek p-o	Balance odběrů	Součtové čáry	
	1,8							
od - do	%	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	přítok	odběr
0 - 1	1,00	1,50	0,00	1,50	-1,50	-1,50	0,00	0,00
1 - 2	0,70	1,05	0,00	1,05	-1,05	-2,55	0,00	1,50
2 - 3	0,70	1,05	0,00	1,05	-1,05	-3,60	0,00	2,55
3 - 4	0,70	1,05	0,00	1,05	-1,05	-4,65	0,00	3,61
4 - 5	2,00	3,01	0,00	3,01	-3,01	-7,66	0,00	4,66
5 - 6	3,00	4,51	0,00	4,51	-4,51	-12,17	0,00	7,66
6 - 7	5,00	7,51	15,03	7,51	7,51	-4,65	0,00	12,17
7 - 8	6,40	9,62	15,03	9,62	5,41	0,76	15,03	19,69
8 - 9	4,50	6,76	15,03	6,76	8,27	9,02	30,06	29,31
9 - 10	5,50	8,27	15,03	8,27	6,76	15,79	45,09	36,07
10 - 11	5,50	8,27	0,00	8,27	-8,27	7,52	60,12	44,34
11 - 12	5,50	8,27	0,00	8,27	-8,27	-0,74	60,12	52,60
12 - 13	5,00	7,51	0,00	7,51	-7,51	-8,26	60,12	60,87
13 - 14	5,00	7,51	0,00	7,51	-7,51	-15,77	60,12	68,38
14 - 15	4,00	6,01	15,03	6,01	9,02	-6,76	60,12	75,90
15 - 16	5,00	7,51	15,03	7,51	7,51	0,76	75,15	81,91
16 - 17	5,00	7,51	15,03	7,51	7,51	8,27	90,17	89,42
17 - 18	6,00	9,02	15,03	9,02	6,01	14,28	105,20	96,94
18 - 19	6,50	9,77	0,00	9,77	-9,77	4,52	120,23	105,96
19 - 20	7,50	11,27	0,00	11,27	-11,27	-6,76	120,23	115,72
20 - 21	5,00	7,51	0,00	7,51	-7,51	-14,27	120,23	127,00
21 - 22	5,00	7,51	15,03	7,51	7,51	-6,76	120,23	134,51
22 - 23	4,00	6,01	15,03	6,01	9,02	2,26	135,26	142,02
23 - 24	1,50	2,25	0,00	2,25	-2,25	0,01	150,29	148,04
Σ	100,00	150,29	150,29	150,29	0,00		150,29	150,29

Tabulka 1 – Doba plnění vodojemu (10 hodin)

Průtok potřebný pro naplnění vodojemu za dobu 10 hodin je

$$Q = 15,03 \text{ [m}^3\text{/h]} = 0,004175 \text{ [m}^3\text{.s}^{-1}\text{]} .$$



Graf 2 – Diagram plnění vodojemu (10hodin)

Výpočet výsledného objemu vodojemu $V_{celk.}$ se skládá z výpočtu provozního objemu $V_{prov.}$, objemu vody pro případnou poruchu $V_{rez.}$ a výpočet objemu vody pro hašení požáru $V_{pož.}$.

Hodnoty bilance odběru:

$$\max = 15,79 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\min = 15,77 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\Sigma = 31,56 = V_{prov.} \text{ [m}^3\text{]}$$

Objem vody v případě poruchy:

$$V_{rez.} = (T/24) \cdot Q_{maxd}$$

$$V_{rez.} = (6/24) \cdot 150,291$$

$$V_{rez.} = 37,6 \text{ [m}^3\text{]}$$

Objem vody pro hašení požáru:

$$V_{pož.} = 3,6 \cdot Q_p \cdot t \cdot n$$

$$V_{pož.} = 3,6 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 1$$

$$V_{pož.} = 28,8 \text{ [m}^3\text{]}$$

Celkový objem vody vodojemu:

$$V_{celk.} = V_{prov.} + V_{rez.} + V_{pož.}$$

$$V_{celk.} = 31,56 + 37,6 + 28,8$$

$$V_{celk.} = 97,96 \text{ [m}^3\text{]}$$

8.1.2 Výpočet měrné energie přívodního potrubí

Pro určení charakteristiky potrubí je nutné vypočítat ztráty při proudění kapaliny v potrubí a výslednou měrnou energii potrubí. Přívodní potrubí, které dopravuje kapalinu z čerpací stanice ČS2 do vodojemu je z PE 75/6,8 a má následující parametry: délka potrubí $l=825$ m, vnitřní průměr potrubí $d=0,0614$ m a drsnost potrubí $k=0,00001$. Charakteristiku potrubí určíme pro dvě možnosti výšky hladiny ve vodojemu: 1) Maximální výška hladiny, 2) Minimální výška hladiny.

1) Maximální výška hladiny

$$H_{max} = 557,1 \text{ [m. n. m.]}$$

$$H_{studny} = 521 \text{ [m. n. m.]}$$

$$H_g = H_{max} - H_{studny} = 557,1 - 521 = 36,1 \text{ [m]}$$

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{0,004175}{0,002961} = 1,410 \text{ [m. s}^{-1}\text{]}$$

$$R_e = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{1,410 \cdot 0,0614}{1,31 \times 10^{-6}} = 66\,236,4 \text{ [1]}$$

Měrná energie potrubí dle Blasia:

$$\lambda = \frac{0,3164}{R_e^{0,25}} = \frac{0,3164}{66236,4^{0,25}} = 0,0197 \text{ [1]}$$

$$Y_z = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2} = \left(0,0197 \cdot \frac{825}{0,0614} + 1,45 \right) \cdot \frac{1,410^2}{2} = 264,57 \text{ [J. kg}^{-1}\text{]}$$

$$Y_p = Y_z + (g \cdot H_g) = 264,57 + (9,81 \cdot 36,1) = 618,711 \text{ [J. kg}^{-1}\text{]}$$

Měrná energie potrubí dle Moodyho:

$$\lambda = 0,0055 \cdot \left[1 + \left(2 \times 10^4 \cdot \frac{k}{d} + \frac{10^6}{R_e} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

$$\lambda = 0,0055 \cdot \left[1 + \left(2 \times 10^4 \cdot \frac{1 \times 10^{-5}}{0,0614} + \frac{10^6}{66236,4} \right)^{\frac{1}{3}} \right] = 0,02 \text{ [1]}$$

$$Y_z = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2} = \left(0,02 \cdot \frac{825}{0,0614} + 1,45 \right) \cdot \frac{1,410^2}{2} = 268,67 \text{ [J. kg}^{-1}\text{]}$$

$$Y_p = Y_z + (g \cdot H_g) = 268,67 + (9,81 \cdot 36,1) = 622,82 \text{ [J. kg}^{-1}\text{]}$$

2) Minimální výška hladiny

$$H_{min} = 554,7 \text{ [m. n. m.]}$$

$$H_{studny} = 521 \text{ [m. n. m.]}$$

$$H_g = H_{max} - H_{studny} = 554,7 - 521 = 33,7 \text{ [m]}$$

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{0,004175}{0,002961} = 1,410 \text{ [m. s}^{-1}\text{]}$$

$$R_e = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{1,410 \cdot 0,0614}{1,31 \times 10^{-6}} = 66\,236,4 \text{ [1]}$$

Měrná energie potrubí dle Blasia:

$$\lambda = \frac{0,3164}{R_e^{0,25}} = \frac{0,3164}{66236,4^{0,25}} = 0,0197 \text{ [1]}$$

$$Y_z = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2} = \left(0,0197 \cdot \frac{825}{0,0614} + 1,45 \right) \cdot \frac{1,410^2}{2} = 264,57 \text{ [J. kg}^{-1}\text{]}$$

$$Y_p = Y_z + (g \cdot H_g) = 264,57 + (9,81 \cdot 33,7) = 595,46 \text{ [J. kg}^{-1}\text{]}$$

Měrná energie potrubí dle Moodyho:

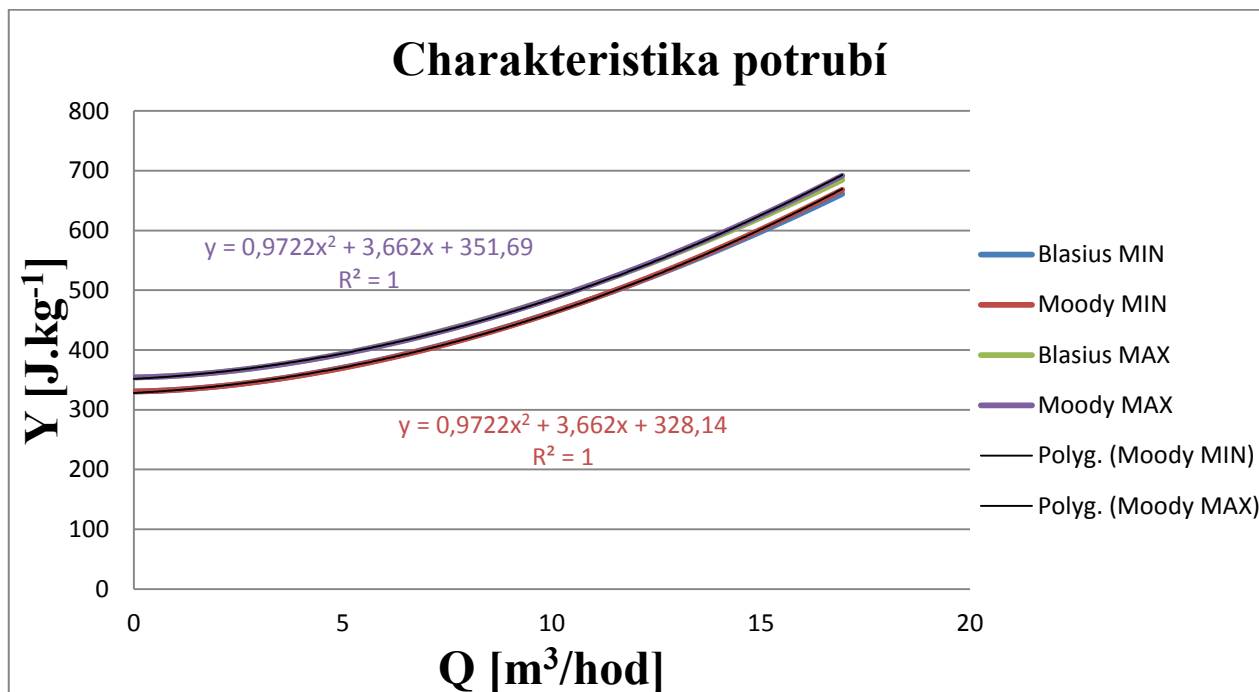
$$\lambda = 0,0055 \cdot \left[1 + \left(2 \times 10^4 \cdot \frac{k}{d} + \frac{10^6}{R_e} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

$$\lambda = 0,0055 \cdot \left[1 + \left(2 \times 10^4 \cdot \frac{1 \times 10^{-5}}{0,0614} + \frac{10^6}{66236,4} \right)^{\frac{1}{3}} \right] = 0,02 \text{ [1]}$$

$$Y_z = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2} = \left(0,02 \cdot \frac{825}{0,0614} + 1,45 \right) \cdot \frac{1,410^2}{2} = 268,67 \text{ [J. kg}^{-1}\text{]}$$

$$Y_p = Y_z + (g \cdot H_g) = 268,67 + (9,81 \cdot 33,7) = 599,27 \text{ [J. kg}^{-1}\text{]}$$

Výsledná charakteristika potrubí pro obě varianty výšky hladiny je znázorněna v grafu 3.



Graf 3 – Charakteristika potrubí (10 hodin)

Výsledné křivky charakteristiky potrubí Blasia i Moodyho se v grafu prakticky shodují, proto jsem rovnice pro výpočet měrné energie provozního bodu vygeneroval pouze pro Moodyho. Z vypočteného průtoku u návrhu vodojemu dostanu dosazením do rovnice potrubí přesnou hodnotu měrné energie hydraulického systému pro daný průtok.

8.1.3 Výpočet měrné energie provozního bodu:

1) Maximální výška hladiny

$$Y = 0,9722 \cdot Q^2 + 3,662 \cdot Q + 351,69$$

$$Y = 0,9722 \cdot 15,03^2 + 3,662 \cdot 15,03 + 351,69$$

$$Y = 626,35 \text{ [J.kg}^{-1}\text{]}$$

2) Minimální výška hladiny

$$Y = 0,9722 \cdot Q^2 + 3,662 \cdot Q + 328,14$$

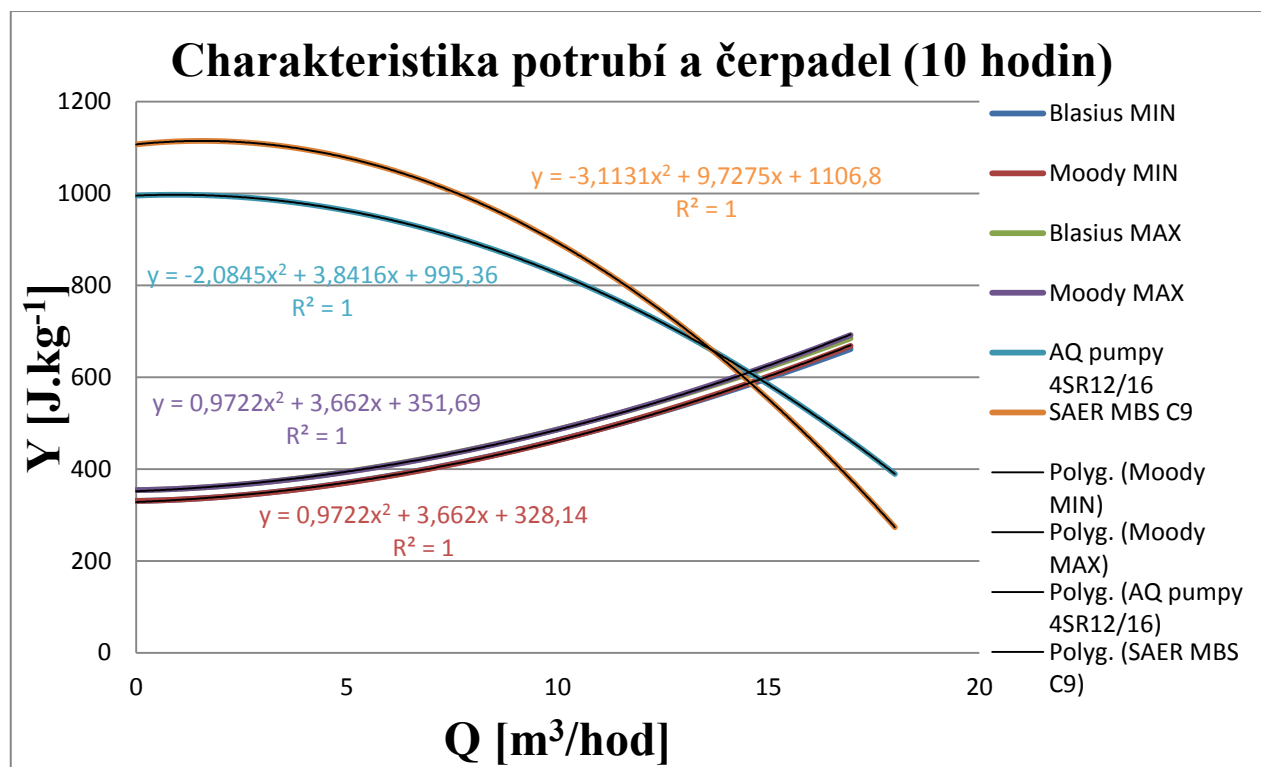
$$Y = 0,9722 \cdot 15,03^2 + 3,662 \cdot 15,03 + 328,14$$

$$Y = 602,8 \text{ [J.kg}^{-1}\text{]}$$

8.1.4 Volba čerpadla:

Pro zjištěné parametry pracovního bodu $Q = 15,03 \text{ m}^3/\text{hod} = 250,5 \text{ l/min}$ a $Y = 611,45 \div 635 \text{ J.kg}^{-1}$ jsem našel dvě vhodná čerpadla, která se svými parametry nejvíce blíží vypočtenému pracovnímu bodu systému. První čerpadlo je od firmy AQ Pumpy typ 4SR12/16. Čerpadlo je vhodné pro čerpání čisté vody. Dosahuje maximální účinnosti 58%.

V případě průtoku $Q = 250 \text{ l/min}$ se účinnost pohybuje okolo 55%, odpovídající měrná energie je $Y = 582 \text{ J.kg}^{-1}$ a příkon čerpadla je 4,4 kW. Při době plnění vodojemu 10 hodin a ceně elektřiny 4 Kč za kW/hod jsou měsíční náklady na provoz čerpadla 5280 Kč. Druhé čerpadlo, které připadá do úvahy, je čerpadlo firmy SAER. Jedná se o typ MBS C9, tento typ čerpadla při průtoku $Q = 250 \text{ l/min}$ má měrnou energii $Y=550 \text{ J.kg}^{-1}$ a příkon 4kW. V tomto případě je cena měsíčního provozu 4800 Kč. Katalog čerpadla SAER viz. příloha D.



Graf 4 – Charakteristika potrubí a čerpadel (10hodin)

8.1.5 Určení pracovního bodu systému

Pracovní bod čerpačního systému je průsečík charakteristiky čerpadla a potrubí. Charakteristiky čerpadla a rovnice popisují polynomické rovnice druhého řádu. Pro získání hodnot průtoku Q a měrné energie Y pracovního bodu je nutné tyto rovnice dát do rovnosti. Z rovnosti rovnic jsem získal kvadratickou rovnici. Následujícím výpočtem kořenů kvadratické rovnice jsem získal hodnoty průtoku pracovního bodu, které představuje veličina x . Měrnou energii pracovního bodu jsem získal dosazením hodnoty veličiny x do rovnice popisující charakteristiku čerpadla.

Pracovní body čerpadla AQ Pumpy 4SR12/16

Maximální hladina:

Rovnice čerpadla: $y = -2,0845 \cdot x^2 + 3,8416 \cdot x + 995,36$

Rovnice potrubí maximální hladiny: $y = 0,9722 \cdot x^2 + 3,662 \cdot x + 351,69$

$$-2,0845 \cdot x^2 + 3,8416 \cdot x + 995,36 = 0,9722 \cdot x^2 + 3,662 \cdot x + 351,69$$

$$-3,0567 \cdot x^2 + 0,1792 \cdot x + 643,67 = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a} = \frac{-0,1792 \pm \sqrt{0,1792^2 - 4 \cdot (-3,0567) \cdot 643,67}}{2 \cdot (-3,0567)}$$

$$x_1 = -14,48$$

$$x_2 = 14,54$$

$$Q = 14,54[\text{m}^3/\text{hod}]$$

Do rovnice pro čerpadlo jsem dosadil pouze kořen, který nabývá kladné hodnoty.

$$y = -2,0845 \cdot 14,54^2 + 3,8416 \cdot 14,54 + 995,36$$

$$y = 610,53$$

$$Y = 610,53[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

Hodnota průtoku pro maximální hladinu: $Q = 14,54 [\text{m}^3/\text{hod}]$

Hodnota měrné energie pro maximální hladinu: $Y = 610,53 [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$

Minimální hladina:

Rovnice čerpadla: $y = -2,0845 \cdot x^2 + 3,8416 \cdot x + 995,36$

Rovnice potrubí minimální hladiny: $y = 0,9722 \cdot x^2 + 3,662 \cdot x + 328,14$

$$-2,0845 \cdot x^2 + 3,8416 \cdot x + 995,36 = 0,9722 \cdot x^2 + 3,662 \cdot x + 328,14$$

$$-3,0567 \cdot x^2 + 0,1792 \cdot x + 667,22 = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a} = \frac{-0,1792 \pm \sqrt{0,1792^2 - 4 \cdot (-3,0567) \cdot 667,22}}{2 \cdot (-3,0567)}$$

$$x_1 = -14,75$$

$$x_2 = 14,80$$

$$Q = 14,80[\text{m}^3/\text{hod}]$$

$$y = -2,0845 \cdot 14,80^2 + 3,8416 \cdot 14,80 + 995,36$$

$$y = 595,63$$

$$Y = 595,63[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

Hodnota průtoku pro minimální hladinu: $Q = 14,80 \text{ [m}^3/\text{hod]}$

Hodnota měrné energie pro minimální hladinu: $Y = 595,63 \text{ [J} \cdot \text{kg}^{-1}\text{]}$

Pracovní body čerpadla SAER MBS C9

Maximální hladina:

Rovnice čerpadla: $y = -3,1131 \cdot x^2 + 9,7275 \cdot x + 1106,8$

Rovnice potrubí maximální hladiny: $y = 0,9722 \cdot x^2 + 3,662 \cdot x + 351,69$

$$-3,1131 \cdot x^2 + 9,7275 \cdot x + 1106,8 = 0,9722 \cdot x^2 + 3,662 \cdot x + 351,69$$

$$-4,0853 \cdot x^2 + 6,0655 \cdot x + 755,11 = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a} = \frac{-6,0655 \pm \sqrt{6,0655^2 - 4 \cdot (-4,0853) \cdot 755,11}}{2 \cdot (-4,0853)}$$

$$x_1 = -12,87$$

$$x_2 = 14,35$$

$$Q = 14,35 \text{ [m}^3/\text{hod]}$$

Do rovnice pro čerpadlo jsem dosadil pouze kořen, který nabývá kladné hodnoty.

$$y = -3,1131 \cdot 14,35^2 + 9,7275 \cdot 14,35 + 1106,8$$

$$y = 605,33$$

$$Y = 605,33 \text{ [J} \cdot \text{kg}^{-1}\text{]}$$

Hodnota průtoku pro maximální hladinu: $Q = 14,35 \text{ [m}^3/\text{hod]}$

Hodnota měrné energie pro maximální hladinu: $Y = 605,33 \text{ [J} \cdot \text{kg}^{-1}\text{]}$

Minimální hladina:

Rovnice čerpadla: $y = -3,1131 \cdot x^2 + 9,7275 \cdot x + 1106,8$

Rovnice potrubí minimální hladiny: $y = 0,9722 \cdot x^2 + 3,662 \cdot x + 328,14$

$$-3,1131 \cdot x^2 + 9,7275 \cdot x + 1106,8 = 0,9722 \cdot x^2 + 3,662 \cdot x + 328,14$$

$$-4,0853 \cdot x^2 + 6,0655 \cdot x + 778,66 = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a} = \frac{-6,0655 \pm \sqrt{6,0655^2 - 4 \cdot (-4,0853) \cdot 778,66}}{2 \cdot (-4,0853)}$$

$$x_1 = -13,08$$

$$x_2 = 14,56$$

$$Q = 14,56 \text{ [m}^3/\text{hod]}$$

$$y = -3,1131 \cdot 14,56 + 9,7275 \cdot 14,56 + 1106,8$$

$$y = 588,48$$

$$Y = 588,48 [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

Hodnota průtoku pro minimální hladinu: $Q = 14,56 [\text{m}^3/\text{hod}]$

Hodnota měrné energie pro minimální hladinu: $Y = 588,48 [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$

Čerpadlo od firmy AQ Pumpy naplní vodojem za kratší dobu, protože v obou případech pracovních bodů pracuje s vyšším průtokem než čerpadlo SAER.

8.2 Doba plnění 12 hodin

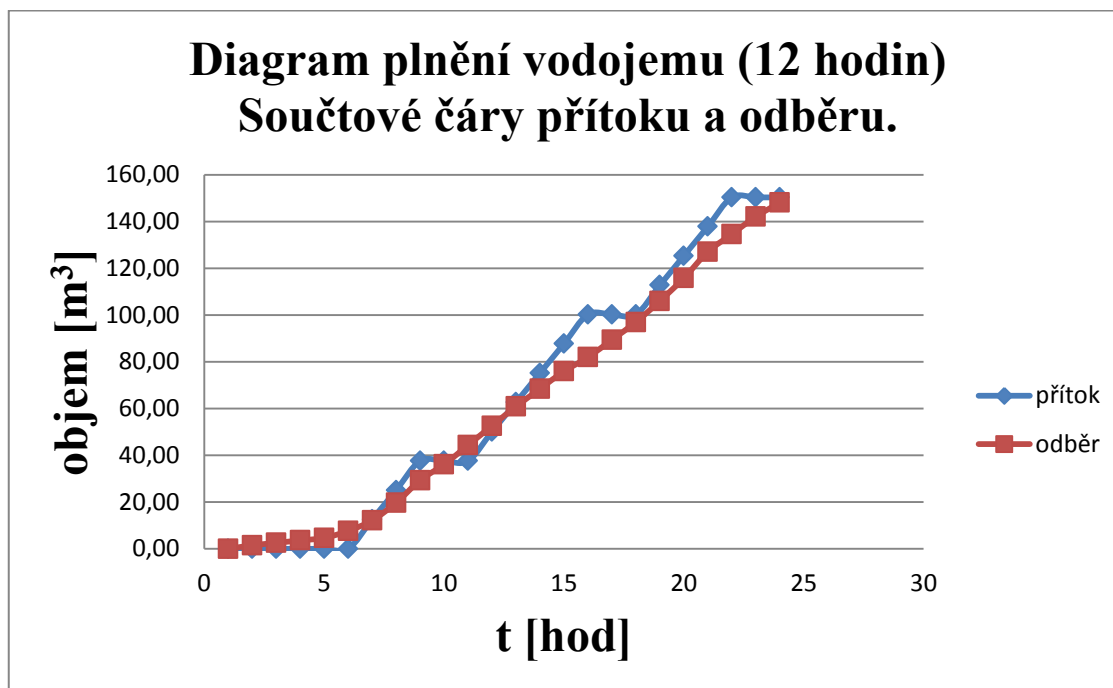
8.2.1 Výpočet objemu vodojemu

Doba plnění vodojemu 12 hodin.								
Hodina	K_h	Hodinová potřeba vody	Přítok	Odběr	Přebytek p-o	Balance odběrů	Součtové čáry	
	1,8							
od - do	%	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	přítok	odběr
0 - 1	1,00	1,50	0,00	1,50	-1,50	-1,50	0,00	0,00
1 - 2	0,70	1,05	0,00	1,05	-1,05	-2,55	0,00	1,50
2 - 3	0,70	1,05	0,00	1,05	-1,05	-3,61	0,00	2,55
3 - 4	0,70	1,05	0,00	1,05	-1,05	-4,66	0,00	3,61
4 - 5	2,00	3,01	0,00	3,01	-3,01	-7,66	0,00	4,66
5 - 6	3,00	4,51	12,52	4,51	8,02	0,35	0,00	7,66
6 - 7	5,00	7,51	12,52	7,51	5,01	5,36	12,52	12,17
7 - 8	6,40	9,62	12,52	9,62	2,91	8,27	25,05	19,69
8 - 9	4,50	6,76	0,00	6,76	-6,76	1,50	37,57	29,31
9 - 10	5,50	8,27	0,00	8,27	-8,27	-6,76	37,57	36,07
10 - 11	5,50	8,27	12,52	8,27	4,26	-2,50	37,57	44,34
11 - 12	5,50	8,27	12,52	8,27	4,26	1,75	50,10	52,60
12 - 13	5,00	7,51	12,52	7,51	5,01	6,76	62,62	60,87
13 - 14	5,00	7,51	12,52	7,51	5,01	11,77	75,15	68,38
14 - 15	4,00	6,01	12,52	6,01	6,51	18,29	87,67	75,90
15 - 16	5,00	7,51	0,00	7,51	-7,51	10,77	100,19	81,91
16 - 17	5,00	7,51	0,00	7,51	-7,51	3,26	100,19	89,42
17 - 18	6,00	9,02	12,52	9,02	3,51	6,76	100,19	96,94
18 - 19	6,50	9,77	12,52	9,77	2,76	9,52	112,72	105,96
19 - 20	7,50	11,27	12,52	11,27	1,25	10,77	125,24	115,72
20 - 21	5,00	7,51	12,52	7,51	5,01	15,78	137,77	127,00
21 - 22	5,00	7,51	0,00	7,51	-7,51	8,27	150,29	134,51
22 - 23	4,00	6,01	0,00	6,01	-6,01	2,25	150,29	142,02
23 - 24	1,50	2,25	0,00	2,25	-2,25	0,00	150,29	148,04
Σ	100,00	150,29	150,29	150,29	0,00	0,00	150,29	150,29

Tabulka 2 - Doba plnění vodojemu (12 hodin)

Průtok potřebný pro naplnění vodojemu za dobu 12 hodin je

$$Q = 12,52 \text{ [m}^3/\text{h]} = 0,00347[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \text{ .}$$



Graf 5 - Diagram plnění vodojemu (12 hodin)

Výpočet výsledného objemu vodojemu $V_{celk.}$ se skládá z výpočtu provozního objemu $V_{prov.}$, objemu vody pro případnou poruchu $V_{rez.}$ a výpočet objemu vody pro hašení požáru $V_{pož.}$.

Hodnoty bilance odběru:

$$\begin{aligned} \max &= 18,29 \text{ [m}^3\text{]} \\ \min &= 7,66 \text{ [m}^3\text{]} \\ \Sigma &= 25,95 = V_{prov.} \text{ [m}^3\text{]} \end{aligned}$$

Objem vody v případě poruchy:

$$\begin{aligned} V_{rez.} &= (T/24) \cdot Q_{maxd} \\ V_{rez.} &= (6/24) \cdot 150,291 \\ V_{rez.} &= 37,6 \text{ [m}^3\text{]} \end{aligned}$$

Objem vody pro hašení požáru:

$$\begin{aligned} V_{pož.} &= 3,6 \cdot Q_p \cdot t \cdot n \\ V_{pož.} &= 3,6 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 1 \\ V_{pož.} &= 28,8 \text{ [m}^3\text{]} \end{aligned}$$

Celkový objem vody vodojemu:

$$\begin{aligned} V_{celk.} &= V_{prov.} + V_{rez.} + V_{pož.} \\ V_{celk.} &= 25,95 + 37,6 + 28,8 \\ V_{celk.} &= 92,35 \text{ [m}^3\text{]} \end{aligned}$$

8.2.2 Výpočet tlakových ztrát

Pro určení charakteristiky potrubí je nutné vypočítat ztráty při proudění kapaliny v potrubí a výslednou měrnou energii potrubí. Přivodní potrubí, které dopravuje kapalinu z čerpací stanice ČS2 do vodojemu je z PE 75/6,8 a má následující parametry: délka potrubí $l=825$ m, vnitřní průměr potrubí $d=0,0614$ m a drsnost potrubí $k=0,00001$. Charakteristiku potrubí určíme pro dvě možnosti výšky hladiny ve vodojemu: 1) Maximální výška hladiny, 2) Minimální výška hladiny.

1) Maximální výška hladiny

$$H_{max} = 557,1 \text{ [m. n. m.]}$$

$$H_{studny} = 521 \text{ [m. n. m.]}$$

$$H_g = H_{max} - H_{studny} = 557,1 - 521 = 36,1 \text{ [m]}$$

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{0,00347}{0,002961} = 1,17 \text{ [m. s}^{-1}\text{]}$$

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{1,17 \cdot 0,0614}{1,31 \times 10^{-6}} = 54838,2 \text{ [1]}$$

Měrná energie potrubí dle Blasia:

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} = \frac{0,3164}{54838,2^{0,25}} = 0,0206 \text{ [1]}$$

$$Y_z = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2} = \left(0,0206 \cdot \frac{825}{0,0614} + 1,45 \right) \cdot \frac{1,17^2}{2} = 190,44 \text{ [J. kg}^{-1}\text{]}$$

$$Y_p = Y_z + (g \cdot H_g) = 190,44 + (9,81 \cdot 36,1) = 544,58 \text{ [J. kg}^{-1}\text{]}$$

Měrná energie potrubí dle Moodyho:

$$\lambda = 0,0055 \cdot \left[1 + \left(2 \times 10^4 \cdot \frac{k}{d} + \frac{10^6}{Re} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

$$\lambda = 0,0055 \cdot \left[1 + \left(2 \times 10^4 \cdot \frac{1 \times 10^{-5}}{0,0614} + \frac{10^6}{54838,2} \right)^{\frac{1}{3}} \right] = 0,0208 \text{ [1]}$$

$$Y_z = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2} = \left(0,0208 \cdot \frac{825}{0,0614} + 1,45 \right) \cdot \frac{1,17^2}{2} = 192,28 \text{ [J. kg}^{-1}\text{]}$$

$$Y_p = Y_z + (g \cdot H_g) = 192,28 + (9,81 \cdot 36,1) = 546,42 \text{ [J. kg}^{-1}\text{]}$$

2) Minimální výška hladiny

$$H_{min} = 554,7 \text{ [m. n. m.]}$$

$$H_{studny} = 521 \text{ [m. n. m.]}$$

$$H_g = H_{max} - H_{studny} = 554,7 - 521 = 33,7 \text{ [m]}$$

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{0,00347}{0,002961} = 1,17 \text{ [m. s}^{-1}\text{]}$$

$$R_e = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{1,17 \cdot 0,0614}{1,31 \times 10^{-6}} = 54838,2 \text{ [1]}$$

Měrná energie potrubí dle Blasia:

$$\lambda = \frac{0,3164}{R_e^{0,25}} = \frac{0,3164}{54838,2^{0,25}} = 0,0206 \text{ [1]}$$

$$Y_z = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2} = \left(0,0206 \cdot \frac{825}{0,0614} + 1,45 \right) \cdot \frac{1,17^2}{2} = 190,44 \text{ [J. kg}^{-1}\text{]}$$

$$Y_p = Y_z + (g \cdot H_g) = 190,44 + (9,81 \cdot 33,7) = 521,04 \text{ [J. kg}^{-1}\text{]}$$

Měrná energie potrubí dle Moodyho:

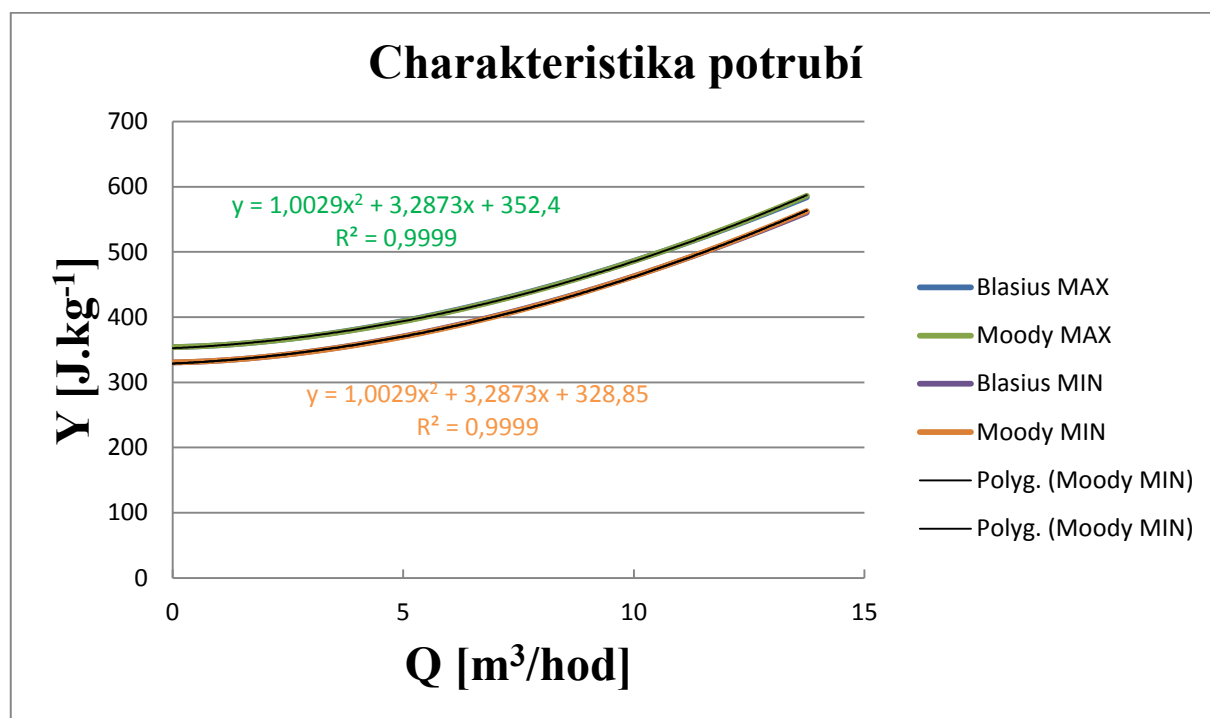
$$\lambda = 0,0055 \cdot \left[1 + \left(2 \times 10^4 \cdot \frac{k}{d} + \frac{10^6}{R_e} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

$$\lambda = 0,0055 \cdot \left[1 + \left(2 \times 10^4 \cdot \frac{1 \times 10^{-5}}{0,0614} + \frac{10^6}{54838,2} \right)^{\frac{1}{3}} \right] = 0,0208 \text{ [1]}$$

$$Y_z = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2} = \left(0,0208 \cdot \frac{825}{0,0614} + 1,45 \right) \cdot \frac{1,17^2}{2} = 192,28 \text{ [J. kg}^{-1}\text{]}$$

$$Y_p = Y_z + (g \cdot H_g) = 192,28 + (9,81 \cdot 33,7) = 522,88 \text{ [J. kg}^{-1}\text{]}$$

Výsledná charakteristika potrubí pro obě varianty výšky hladiny je znázorněna v grafu 6.



Graf 6 - Charakteristika potrubí (12 hodin)

Výsledné křivky charakteristiky potrubí Blasia i Moodyho se v grafu prakticky shodují, proto jsem rovnice pro výpočet měrné energie provozního bodu vygeneroval pouze pro Moodyho. Z vypočteného průtoku u návrhu vodojemu dostanu dosazením do rovnice potrubí přesnou hodnotu měrné energie hydraulického systému pro daný průtok.

8.2.3 Výpočet měrné energie provozního bodu:

1) Maximální výška hladiny

$$Y = 1,0029 \cdot Q^2 + 3,2873 \cdot Q + 352,4$$

$$Y = 1,0029 \cdot 12,52^2 + 3,2873 \cdot 12,52 + 352,4$$

$$Y = 550,76 \text{ [J.kg}^{-1}\text{]}$$

2) Minimální výška hladiny

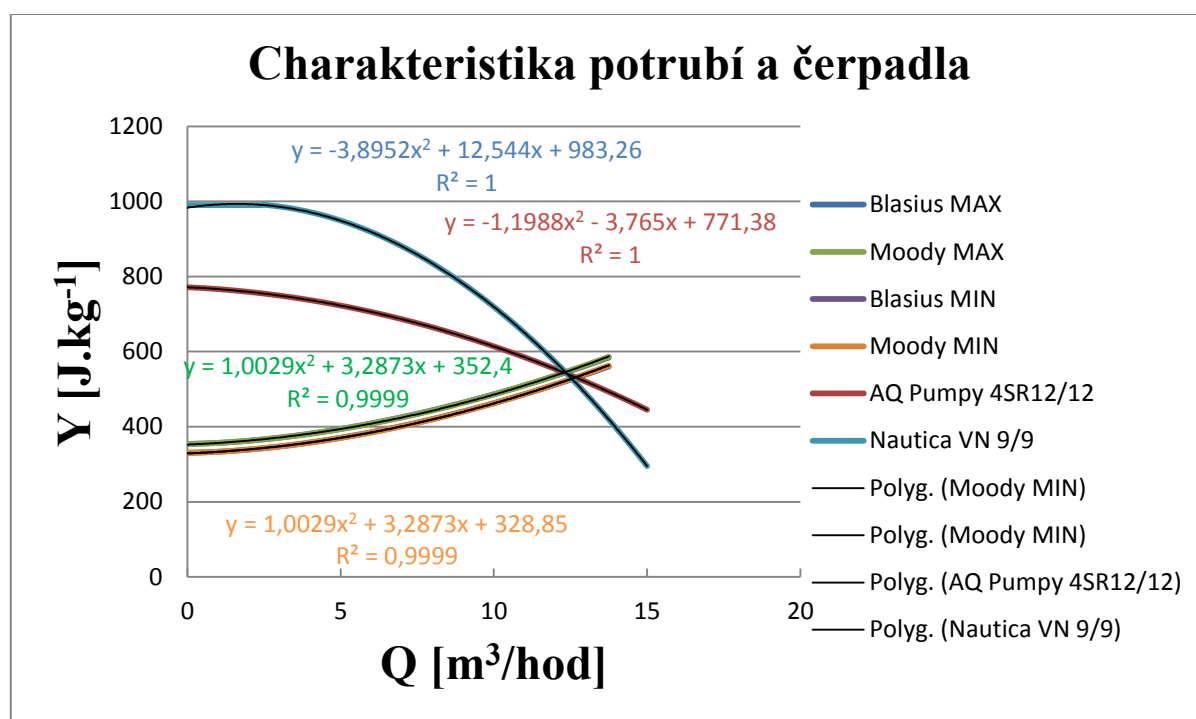
$$Y = 1,0029 \cdot Q^2 + 3,2873 \cdot Q + 328,85$$

$$Y = 1,0029 \cdot 12,52^2 + 3,2873 \cdot 12,52 + 328,85$$

$$Y = 527,21 \text{ [J.kg}^{-1}\text{]}$$

8.2.4 Volba čerpadla:

Získané hodnoty průtoku a měrné energie hydraulického systému jsou $Q = 12,52 \text{ m}^3/\text{hod} = 208,66 \text{ l/min}$ a $Y = 550,76 \div 527,21 \text{ J.kg}^{-1}$. K těmto parametrům systému jsem našel opět dvě vhodná čerpadla. První čerpadlo je opět od firmy AQ Pumpy typ 4SR12/12. Je to o řadu menší čerpadlo než v případě doby plnění vodojemu 10 hodin. Tento typ čerpadla dosahuje stejné maximální účinnosti jako typ 4SR12/16 tedy 58% při průtoku $Q = 195 \text{ l/min}$. U potřebného průtoku $Q = 208,66 \text{ l/min}$ pracuje čerpadlo s účinností okolo 57%, měrná energie je $Y = 542 \text{ J.kg}^{-1}$ a příkon čerpadla je 3,3 kW. Vzhledem k době plnění vodojemu 12 hodin je finanční náročnost čerpadla na měsíc provozu 4750 Kč při uvažované ceně 4 Kč za 1kW/hod. Druhé vyhovující čerpadlo je Nauti VN 9/9. Toto čerpadlo při průtoku $Q = 208 \text{ l/min}$, měrnou energii $Y = 530 \text{ J.kg}^{-1}$ a účinnost 60%. Čerpadlo má příkon 3,1 kW. Měsíc provozu tohoto čerpadla bude méně finančně náročný v porovnání s čerpadlem od firmy AQ Pumpy. Cena měsíčního provozu čerpadla Nauti je 4460 Kč. Katalog čerpadla Nauti viz. příloha E.



Graf 7 - Charakteristika potrubí a čerpadel (12 hodin)

8.2.5 Určení pracovního bodu systému

Pracovní body systému pro čerpadlo AQ Pumpy typ 4SR12/12

Maximální hladina:

Rovnice čerpadla: $y = -1,1988 \cdot x^2 - 3,765 \cdot x + 771,38$

Rovnice potrubí maximální hladiny: $y = 1,0029 \cdot x^2 + 3,2873 \cdot x + 352,4$

$$-1,1988 \cdot x^2 - 3,765 \cdot x + 771,38 = 1,0029 \cdot x^2 + 3,2873 \cdot x + 352,4$$

$$-2,2017 \cdot x^2 - 7,0523 \cdot x + 418,98 = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a} = \frac{7,0523 \pm \sqrt{(-7,0523)^2 - 4 \cdot (-2,2017) \cdot 418,98}}{2 \cdot (-2,2017)}$$

$$x_1 = -15,48$$

$$x_2 = 12,29$$

$$Q = 12,29[\text{m}^3/\text{hod}]$$

Do rovnice pro čerpadlo jsem dosadil pouze kořen, který nabývá kladné hodnoty.

$$y = -1,1988 \cdot 12,29^2 - 3,765 \cdot 12,29 + 771,38$$

$$y = 544,04$$

$$Y = 544,04[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

Hodnota průtoku pro maximální hladinu: $Q = 12,29 [\text{m}^3/\text{hod}]$

Hodnota měrné energie pro maximální hladinu: $Y = 544,04[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$

Minimální hladina:

Rovnice čerpadla: $y = -1,1988 \cdot x^2 - 3,765 \cdot x + 771,38$

Rovnice potrubí minimální hladiny: $y = 1,0029 \cdot x^2 + 3,2873 \cdot x + 328,85$

$$-1,1988 \cdot x^2 - 3,765 \cdot x + 771,38 = 1,0029 \cdot x^2 + 3,2873 \cdot x + 328,85$$

$$-2,2017 \cdot x^2 - 7,0523 \cdot x + 442,53 = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a} = \frac{7,0523 \pm \sqrt{(-7,0523)^2 - 4 \cdot (-2,2017) \cdot 442,53}}{2 \cdot (-2,2017)}$$

$$x_1 = -15,87$$

$$x_2 = 12,66$$

$$Q = 12,66[\text{m}^3/\text{hod}]$$

$$y = -1,1988 \cdot 12,66^2 - 3,765 \cdot 12,66 + 771,38$$

$$y = 531,58$$

$$Y = 531,58[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

Hodnota průtoku pro minimální hladinu: $Q = 12,66 [\text{m}^3/\text{hod}]$

Hodnota měrné energie pro minimální hladinu: $Y = 531,58 [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$

Pracovní body systému pro čerpadlo Nautica VN 9/9

Maximální hladina:

Rovnice čerpadla: $y = -3,8952 \cdot x^2 + 12,544 \cdot x + 983,26$

Rovnice potrubí maximální hladiny: $y = 1,0029 \cdot x^2 + 3,2873 \cdot x + 352,4$

$$-3,8952 \cdot x^2 + 12,544 \cdot x + 983,26 = 1,0029 \cdot x^2 + 3,2873 \cdot x + 352,4$$

$$-4,8981 \cdot x^2 + 9,2567 \cdot x + 630,86 = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a} = \frac{-9,2567 \pm \sqrt{9,2567^2 - 4 \cdot (-4,8981) \cdot 630,86}}{2 \cdot (-4,8981)}$$

$$x_1 = -10,44$$

$$x_2 = 12,33$$

$$Q = 12,33[\text{m}^3/\text{hod}]$$

Do rovnice pro čerpadlo jsem dosadil pouze kořen, který nabývá kladné hodnoty.

$$y = -3,8952 \cdot 12,33^2 + 12,544 \cdot 12,33 + 983,26$$

$$y = 545,74$$

$$Y = 545,74[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

Hodnota průtoku pro maximální hladinu: $Q = 12,33 [\text{m}^3/\text{hod}]$

Hodnota měrné energie pro maximální hladinu: $Y = 545,74 [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$

Minimální hladina:

Rovnice čerpadla: $y = -3,8952 \cdot x^2 + 12,544 \cdot x + 983,26$

Rovnice potrubí minimální hladiny: $y = 1,0029 \cdot x^2 + 3,2873 \cdot x + 328,85$

$$-3,8952 \cdot x^2 + 12,544 \cdot x + 983,26 = 1,0029 \cdot x^2 + 3,2873 \cdot x + 328,85$$

$$-4,8981 \cdot x^2 + 9,2567 \cdot x + 654,41 = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a} = \frac{-9,2567 \pm \sqrt{9,2567^2 - 4 \cdot (-4,8981) \cdot 654,41}}{2 \cdot (-4,8981)}$$

$$x_1 = -10,65$$

$$x_2 = 12,54$$

$$Q = 12,54[\text{m}^3/\text{hod}]$$

$$y = -3,8952 \cdot 12,54^2 + 12,544 \cdot 12,54 + 983,26$$

$$y = 528,04$$

$$Y = 528,04[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

Hodnota průtoku pro minimální hladinu: $Q = 12,54 \text{ [m}^3/\text{hod]}$

Hodnota měrné energie pro minimální hladinu: $Y = 528,04 \text{ [J. kg}^{-1}\text{]}$

8.3 Doba plnění 13 hodin

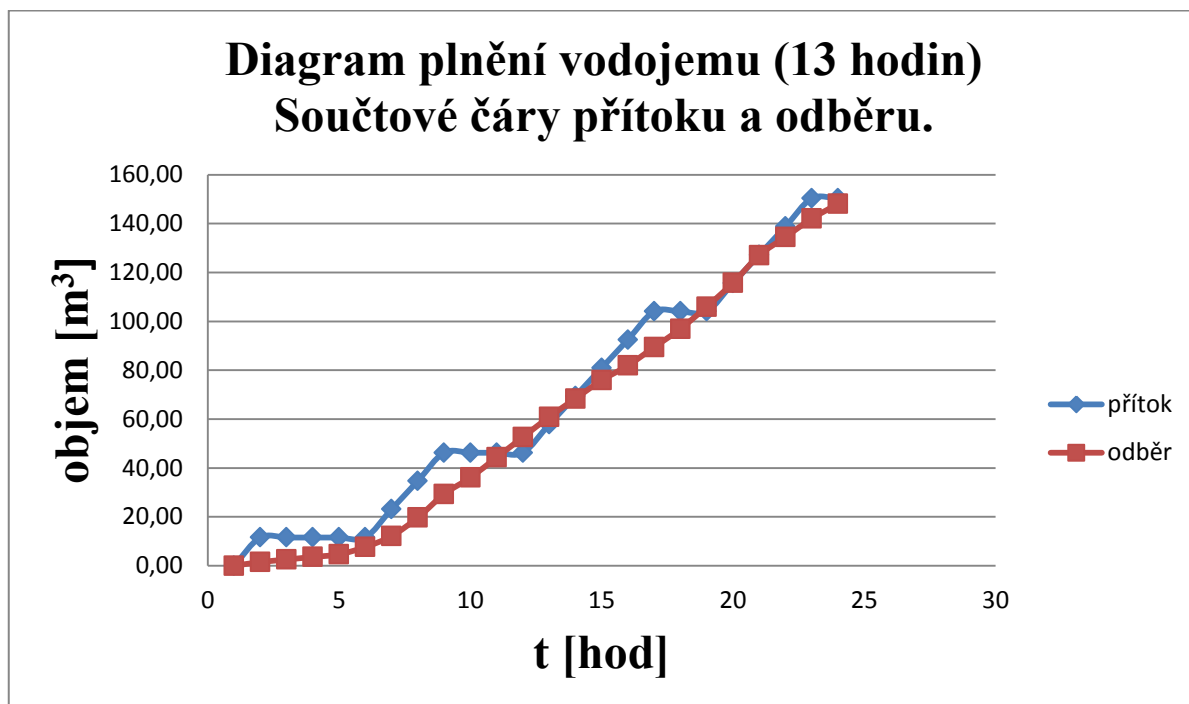
8.3.1 Výpočet objemu vodojemu

Doba plnění vodojemu 13 hodin.								
Hodina	K_h	Hodinová potřeba vody	Přítok	Odběr	Přebytek p-o	Balance odběrů	Součtové čáry	
	1,8							
od - do	%	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	přítok	odběr
0 - 1	1,00	1,50	11,56	1,50	10,06	10,06	0,00	0,00
1 - 2	0,70	1,05	0,00	1,05	-1,05	9,01	11,56	1,50
2 - 3	0,70	1,05	0,00	1,05	-1,05	7,95	11,56	2,55
3 - 4	0,70	1,05	0,00	1,05	-1,05	6,90	11,56	3,61
4 - 5	2,00	3,01	0,00	3,01	-3,01	3,90	11,56	4,66
5 - 6	3,00	4,51	11,56	4,51	7,05	10,95	11,56	7,66
6 - 7	5,00	7,51	11,56	7,51	4,05	14,99	23,12	12,17
7 - 8	6,40	9,62	11,56	9,62	1,94	16,94	34,68	19,69
8 - 9	4,50	6,76	0,00	6,76	-6,76	10,17	46,24	29,31
9 - 10	5,50	8,27	0,00	8,27	-8,27	1,91	46,24	36,07
10 - 11	5,50	8,27	0,00	8,27	-8,27	-6,36	46,24	44,34
11 - 12	5,50	8,27	11,56	8,27	3,29	-3,06	46,24	52,60
12 - 13	5,00	7,51	11,56	7,51	4,05	0,98	57,80	60,87
13 - 14	5,00	7,51	11,56	7,51	4,05	5,03	69,36	68,38
14 - 15	4,00	6,01	11,56	6,01	5,55	10,58	80,93	75,90
15 - 16	5,00	7,51	11,56	7,51	4,05	14,62	92,49	81,91
16 - 17	5,00	7,51	0,00	7,51	-7,51	7,11	104,05	89,42
17 - 18	6,00	9,02	0,00	9,02	-9,02	-1,91	104,05	96,94
18 - 19	6,50	9,77	11,56	9,77	1,79	-0,12	104,05	105,96
19 - 20	7,50	11,27	11,56	11,27	0,29	0,17	115,61	115,72
20 - 21	5,00	7,51	11,56	7,51	4,05	4,22	127,17	127,00
21 - 22	5,00	7,51	11,56	7,51	4,05	8,27	138,73	134,51
22 - 23	4,00	6,01	0,00	6,01	-6,01	2,25	150,29	142,02
23 - 24	1,50	2,25	0,00	2,25	-2,25	0,00	150,29	148,04
Σ	100,00	150,29	150,29	150,29	0,00	0,00	150,29	150,29

Tabulka 3 – Doba plnění vodojemu (13 hodin)

Doba plnění vodojemu 13 hodin znamená, že průtok má hodnotu

$$Q = 11,56 \text{ [m}^3/\text{h]} = 0,00321 \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]} .$$



Graf 8 – Diagram plnění vodojemu (13 hodin)

Výpočet výsledného objemu vodojemu $V_{celk.}$ se skládá z výpočtu provozního objemu $V_{prov.}$, objemu vody pro případnou poruchu $V_{rez.}$ a výpočet objemu vody pro hašení požáru $V_{pož.}$.

Hodnoty bilance odběru:

$$\max = 16,94 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\min = 6,36 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\Sigma = 23,3 = V_{prov.} \text{ [m}^3\text{]}$$

Objem vody v případě poruchy:

$$V_{rez.} = (T/24) \cdot Q_{maxd}$$

$$V_{rez.} = (6/24) \cdot 150,291$$

$$V_{rez.} = 37,6 \text{ [m}^3\text{]}$$

Objem vody pro hašení požáru:

$$V_{pož.} = 3,6 \cdot Q_p \cdot t \cdot n$$

$$V_{pož.} = 3,6 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 1$$

$$V_{pož.} = 28,8 \text{ [m}^3\text{]}$$

Celkový objem vody vodojemu:

$$V_{celk.} = V_{prov.} + V_{rez.} + V_{pož.}$$

$$V_{celk.} = 23,3 + 37,6 + 28,8$$

$$V_{celk.} = 89,7 \text{ [m}^3\text{]}$$

8.3.2 Výpočet tlakových ztrát

Pro určení charakteristiky potrubí je nutné vypočítat ztráty při proudění kapaliny v potrubí a výslednou měrnou energii potrubí. Přivodní potrubí, které dopravuje kapalinu z čerpací stanice ČS2 do vodojemu je z PE 75/6,8 a má následující parametry: délka potrubí $l=825$ m, vnitřní průměr potrubí $d=0,0614$ m a drsnost potrubí $k=0,00001$. Charakteristiku potrubí určíme pro dvě možnosti výšky hladiny ve vodojemu: 1) Maximální výška hladiny, 2) Minimální výška hladiny.

1) Maximální výška hladiny

$$H_{max} = 557,1 \text{ [m. n. m.]}$$

$$H_{studny} = 521 \text{ [m. n. m.]}$$

$$H_g = H_{max} - H_{studny} = 557,1 - 521 = 36,1 \text{ [m]}$$

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{0,00321}{0,002961} = 1,08 \text{ [m. s}^{-1}\text{]}$$

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{1,08 \cdot 0,0614}{1,31 \times 10^{-6}} = 50619,85 \text{ [1]}$$

Měrná energie potrubí dle Blasia:

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} = \frac{0,3164}{50619,85^{0,25}} = 0,021 \text{ [1]}$$

$$Y_z = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2} = \left(0,021 \cdot \frac{825}{0,0614} + 1,45 \right) \cdot \frac{1,08^2}{2} = 165,4 \text{ [J. kg}^{-1}\text{]}$$

$$Y_p = Y_z + (g \cdot H_g) = 165,4 + (9,81 \cdot 36,1) = 519,5 \text{ [J. kg}^{-1}\text{]}$$

Měrná energie potrubí dle Moodyho:

$$\lambda = 0,0055 \cdot \left[1 + \left(2 \times 10^4 \cdot \frac{k}{d} + \frac{10^6}{Re} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

$$\lambda = 0,0055 \cdot \left[1 + \left(2 \times 10^4 \cdot \frac{1 \times 10^{-5}}{0,0614} + \frac{10^6}{50619,85} \right)^{\frac{1}{3}} \right] = 0,0212 \text{ [1]}$$

$$Y_z = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2} = \left(0,0212 \cdot \frac{825}{0,0614} + 1,45 \right) \cdot \frac{1,08^2}{2} = 166,97 \text{ [J. kg}^{-1}\text{]}$$

$$Y_p = Y_z + (g \cdot H_g) = 166,97 + (9,81 \cdot 36,1) = 521,1 \text{ [J. kg}^{-1}\text{]}$$

2) Minimální výška hladiny

$$H_{min} = 554,7 \text{ [m. n. m.]}$$

$$H_{studny} = 521 \text{ [m. n. m.]}$$

$$H_g = H_{max} - H_{studny} = 554,7 - 521 = 33,7 \text{ [m]}$$

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{0,00321}{0,002961} = 1,08 \text{ [m. s}^{-1}\text{]}$$

$$R_e = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{1,08 \cdot 0,0614}{1,31 \times 10^{-6}} = 50619,85 \text{ [1]}$$

Měrná energie potrubí dle Blasia:

$$\lambda = \frac{0,3164}{R_e^{0,25}} = \frac{0,3164}{50619,85^{0,25}} = 0,021 \text{ [1]}$$

$$Y_z = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2} = \left(0,021 \cdot \frac{825}{0,0614} + 1,45 \right) \cdot \frac{1,08^2}{2} = 165,4 \text{ [J. kg}^{-1}\text{]}$$

$$Y_p = Y_z + (g \cdot H_g) = 165,4 + (9,81 \cdot 33,7) = 495,99 \text{ [J. kg}^{-1}\text{]}$$

Měrná energie potrubí dle Moodyho:

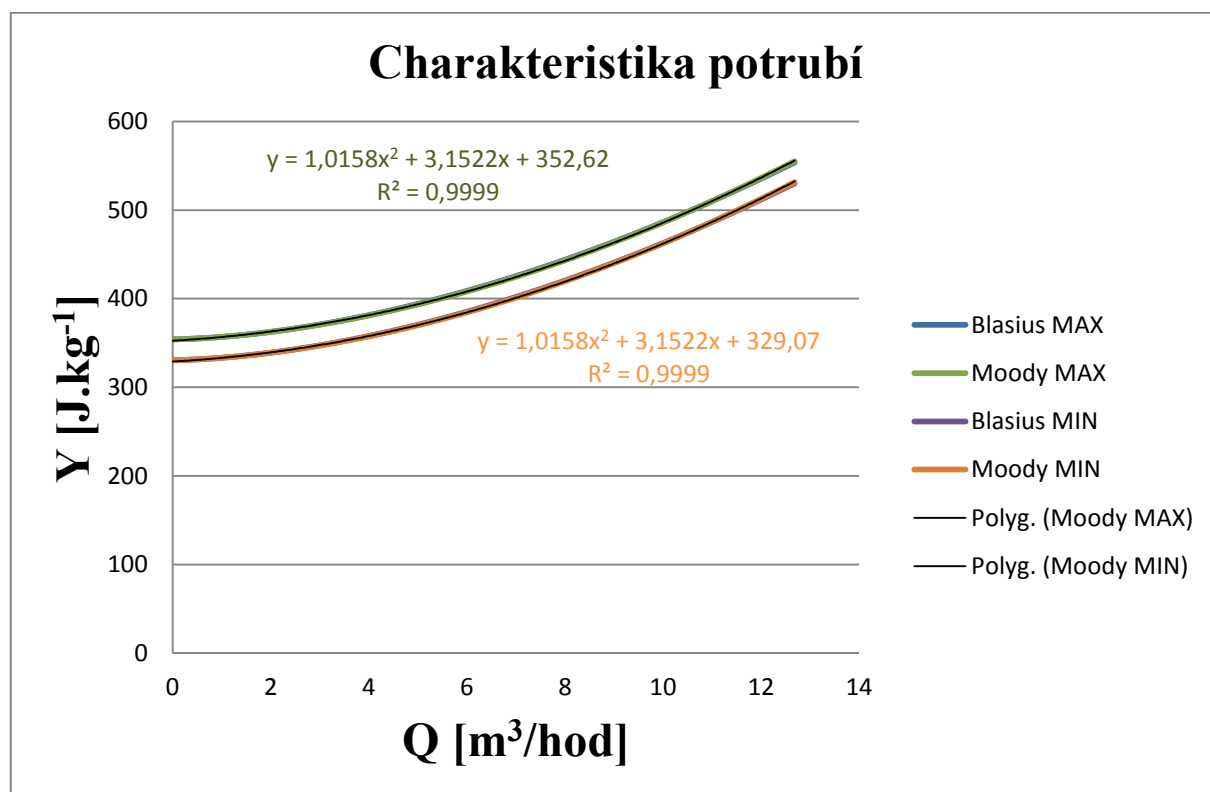
$$= 0,0055 \cdot \left[1 + \left(2 \times 10^4 \cdot \frac{k}{d} + \frac{10^6}{R_e} \right)^{\frac{1}{3}} \right]$$

$$\lambda = 0,0055 \cdot \left[1 + \left(2 \times 10^4 \cdot \frac{1 \times 10^{-5}}{0,0614} + \frac{10^6}{50619,85} \right)^{\frac{1}{3}} \right] = 0,0212 \text{ [1]}$$

$$Y_z = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2} = \left(0,0212 \cdot \frac{825}{0,0614} + 1,45 \right) \cdot \frac{1,08^2}{2} = 166,97 \text{ [J. kg}^{-1}\text{]}$$

$$Y_p = Y_z + (g \cdot H_g) = 166,97 + (9,81 \cdot 33,7) = 497,57 \text{ [J. kg}^{-1}\text{]}$$

Výsledná charakteristika potrubí pro obě varianty výšky hladiny je znázorněna v grafu 9.



Graf 9 – Charakteristika potrubí (13 hodin)

Výsledné křivky charakteristiky potrubí Blasia i Moodyho se v grafu prakticky shodují, proto jsem rovnice pro výpočet měrné energie provozního bodu vygeneroval pouze pro Moodyho. Z vypočteného průtoku u návrhu vodojemu dostanu dosazením do rovnice potrubí přesnou hodnotu měrné energie hydraulického systému pro daný průtok.

8.3.3 Výpočet měrné energie provozního bodu:

1) Maximální výška hladiny

$$Y = 1,0158 * Q^2 + 3,1522 * Q + 352,62$$

$$Y = 1,0158 * 11,56^2 + 3,1522 * 11,56 + 352,62$$

$$Y = 524,8 \text{ [J.kg}^{-1}\text{]}$$

2) Minimální výška hladiny

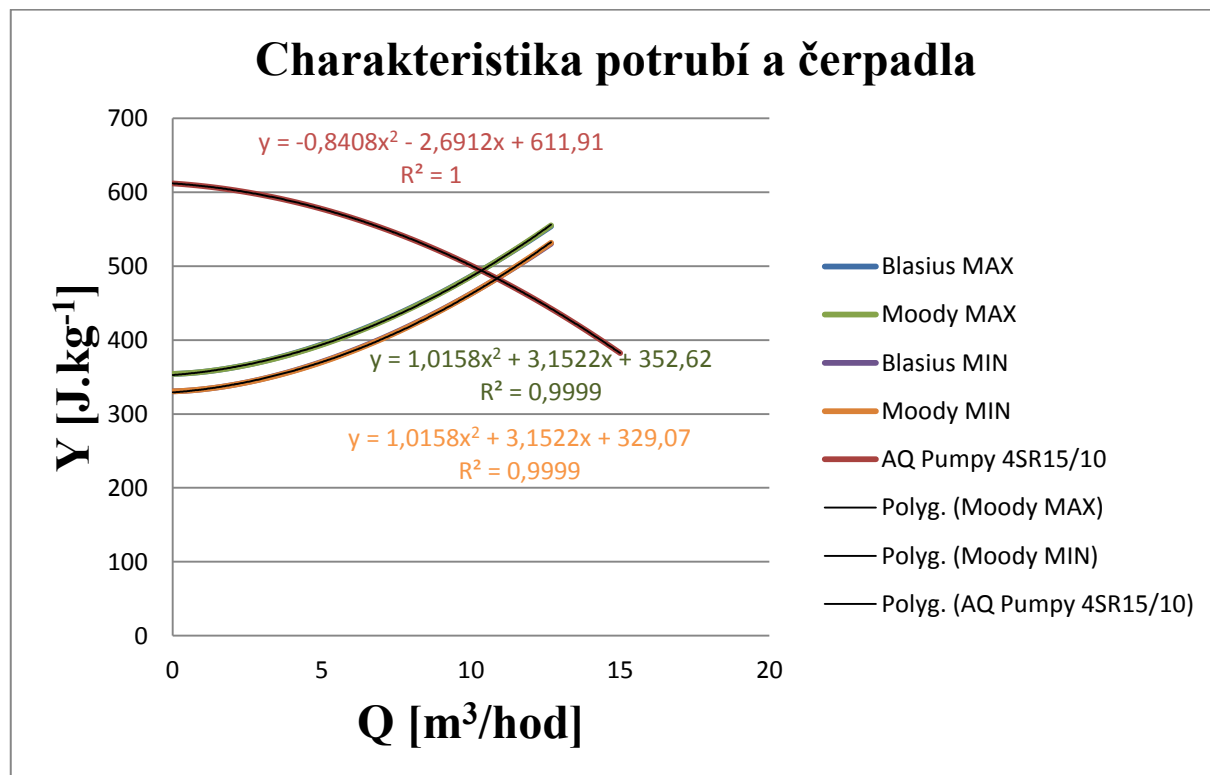
$$Y = 1,0158 * Q^2 + 3,1522 * Q + 329,07$$

$$Y = 1,0158 * 11,56^2 + 3,1522 * 11,56 + 329,07$$

$$Y = 501,25 \text{ [J.kg}^{-1}\text{]}$$

8.3.4 Volba čerpadla:

Hodnota průtoku $Q = 11,56 \text{ m}^3/\text{hod} = 192,66 \text{ l/min}$ a hodnoty měrné energie $Y = 524,8 \div 501,25 \text{ J.kg}^{-1}$ mě v případě plnění vodojemu po dobu 13 hodin přivedly k jednomu vyhovujícímu čerpadlu. Čerpadlo je opět od firmy AQ Pumpy. Označení čerpadla 4SR15/10. Toto čerpadlo má při $Q = 11,56 \text{ m}^3/\text{hod} = 192,66 \text{ l/min}$ měrnou energii $Y=468 \text{ J.kg}^{-1}$. Příkon čerpadla vzhledem k udávaným parametrům je 3,2 kW a účinnost se pohybuje okolo 47%. Měsíční provoz čerpadla tedy stojí 4990 Kč.



Graf 10 – Charakteristika potrubí a čerpadla (13 hodin)

8.3.5 Určení pracovního bodu systému

Pracovní body systému pro čerpadlo AQ Pumpy typ 4SR15/10

Maximální hladina:

Rovnice čerpadla: $y = -0,8408 \cdot x^2 - 2,6912 \cdot x + 611,91$

Rovnice potrubí maximální hladiny: $y = 1,0158 \cdot x^2 + 3,1522 \cdot x + 352,62$

$$-0,8408 \cdot x^2 - 2,6912 \cdot x + 611,91 = 1,0158 \cdot x^2 + 3,1522 \cdot x + 352,62$$

$$-1,8566 \cdot x^2 - 5,8434 \cdot x + 259,29 = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a} = \frac{5,8434 \pm \sqrt{(-5,8434)^2 - 4 \cdot (-1,8566) \cdot 259,29}}{2 \cdot (-1,8566)}$$

$$x_1 = -13,5$$

$$x_2 = 10,35$$

$$Q = 10,35[\text{m}^3/\text{hod}]$$

Do rovnice pro čerpadlo jsem dosadil pouze kořen, který nabývá kladné hodnoty.

$$y = -0,8408 \cdot 10,35^2 - 2,6912 \cdot 10,35 + 611,91$$

$$y = 493,99$$

$$Y = 493,99[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

Hodnota průtoku pro maximální hladinu: $Q = 10,35 [\text{m}^3/\text{hod}]$

Hodnota měrné energie pro maximální hladinu: $Y = 493,99 [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$

Minimální hladina:

Rovnice čerpadla: $y = -0,8408 \cdot x^2 - 2,6912 \cdot x + 611,91$

Rovnice potrubí minimální hladiny: $y = 1,0158 \cdot x^2 + 3,1522 \cdot x + 329,07$

$$-0,8408 \cdot x^2 - 2,6912 \cdot x + 611,91 = 1,0158 \cdot x^2 + 3,1522 \cdot x + 329,07$$

$$-1,8566 \cdot x^2 - 5,8434 \cdot x + 282,84 = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a} = \frac{5,8434 \pm \sqrt{(-5,8434)^2 - 4 \cdot (-1,8566) \cdot 282,84}}{2 \cdot (-1,8566)}$$

$$x_1 = -14,01$$

$$x_2 = 10,87$$

$$Q = 10,87[\text{m}^3/\text{hod}]$$

$$y = -0,8408 \cdot 10,87^2 - 2,6912 \cdot 10,87 + 611,91$$

$$y = 483,31$$

$$Y = 483,31[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

Hodnota průtoku pro minimální hladinu: $Q = 10,87 [\text{m}^3/\text{hod}]$

Hodnota měrné energie pro minimální hladinu: $Y = 483,31 [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$

8.4 Výsledné porovnání čerpadel

Při návrhu vodojemu jsem vycházel ze tří dob plnění tohoto vodojemu. Pro požadované parametry průtoku a dopravní výšky jsem našel celkově 5 čerpadel, které vyhovovaly. Z finančního hlediska je na provoz nejméně náročné čerpadlo Nauti VN 9/9, které splňuje kritéria pro dobu plnění vodojemu 12 hodin. U tohoto čerpadla je cena měsíčního provozu 4 460 Kč. Nejvyšší finanční náklady na měsíční provoz má mezi porovnávanými čerpadly čerpadlo od firmy AQ Pumpy typ 4SR12/16. Měsíční provoz tohoto čerpadla přijde na 5280

Kč. Nepodařilo se mi zjistit ceny čerpadel od firmy AQ Pumpy, a z tohoto důvodu neporovnávám pořizovací náklady na čerpadla, která je nutno pořídit dvě z důvodu možné poruchy čerpadla a jeho rychlého nahrazení.

Doba plnění vodojemu	Čerpadlo	Účinnost	Měrná energie	Příkon	Cena provozu
[hod]		[%]	[J.kg ⁻¹]	[kW]	[kč/měsíc]
10	AQ Pumpy 4SR12/16	55	582	4,4	5280
	SAER MBS C9	-	550	4	4800
12	AQ Pumpy 4SR12/12	57	542	3,3	4750
	Nauti VN 9/9	60	530	3,1	4460
13	AQ Pumpy 4SR15/10	47	468	3,2	4990

Tabulka 4- Porovnání parametrů čerpadel

8.5 ATS pro horní tlakové pásmo

Stávající vodovodní síť v obci Ovesná Lhota neumožňuje i přes maximální provozní hodnotu hladiny ve vodojemu dodržet požadované tlaky ve všech koncových uzlech sítě, které by neměly být nižší než 0,25 MPa. Z tohoto důvodu je vodovodní síť rozdělena na dvě tlaková pásma, dolní tlakové pásmo je zásobováno gravitačně, pro horní tlakové pásmo bude v objektu rekonstruovaného vodojemu osazena automatická tlaková stanice.

Obvykle se jako automatická tlaková stanice definují „domácí vodárny“ s průtokem větším než cca 5 m³/hod. Přestože je požadovaný průtok pro horní tlakové pásmo obce Ovesná Lhota nižší, a to díky klesající specifické spotřebě vody, vzhledem k požadavkům provozu a počtu připojených obyvatel je zde pro zesílení tlaku v síti ATS navržena, avšak s nižšími parametry. Je možné konstatovat, že zásobovací řady jsou předimenzované, hydraulické ztráty jsou velmi malé, není dosahována ani minimální doporučená hodnota rychlosti 0,3 m·s⁻¹ a v síti se nacházejí i úseky s téměř nulovou rychlostí. Hodnota maximální rychlosti 1,5 m·s⁻¹ není nikde v síti překročena.

8.5.1 Výpočet tlakových ztrát v horním tlakovém pásmu

Maximální denní spotřeba pitné vody v obci Ovesná Lhota zůstala stejná i po nárůstu spotřeby ve vodovodním hospodářství obce. Spotřeba podle měření vzrostla jen v zemědělském areálu. Maximální denní spotřeba pitné vody pro obyvatelstvo obce je po vynásobení koeficientem denní nerovnoměrnosti $Q_{MAXD} = 29394 \cdot 1,5 = 44091$ l/den. Obec je rozdělena na dvě pásma, horní tlakové pásmo a dolní tlakové pásmo. Podle situačních map vodovodního potrubí viz. přílohy B., D., každé z tlakových pásem obhospodařuje přibližně polovinu vesnice. Z tohoto předpokladu jsem určil maximální spotřebu v horním tlakovém pásmu na 22045,5 l/den. Toto tlakové pásmo je složeno z několika různých druhů

potrubí. Potrubí se liší délkou, průměrem, ale i použitým materiálem. Z důvodu dosahování velice malých rychlostí v potrubí, jsem ve výpočtech neuváděl drsnost potrubí.

Řád	Průměr potrubí	Materiál	Délka	Převýšení
	[m]		[m]	[m]
B	125	L	312	2
F	90	PVC	126	3
G	80	L	48	1
CH	110	PVC	202	5
I	90	PVC	16	1

Tabulka 5 – Potrubí horní tlakové pásma

$$\xi_{kolene} = 0,4 [1]$$

$$\xi_{ventilu} = 0,3 [1]$$

$$Q = 22045,5 [l/den] = 0,000255 [m^3 \cdot s^{-1}]$$

Tlaková ztráta řádu B:

Tato trasa je nejdelší a nejvíce mění směr podle situační mapy vodovodního potrubí. Do výpočtu jsem zahrnul místní ztrátu v 5 kolen a 1 ventilu.

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{0,000255}{0,01227} = 0,021 [m \cdot s^{-1}]$$

$$R_e = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{0,021 \cdot 0,125}{1,31 \times 10^{-6}} = 2003,8 [1]$$

$$\lambda = \frac{64}{R_e} = \frac{64}{2300,8} = 0,0319 [1]$$

$$P_{ZB} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho = \left(0,0319 \cdot \frac{312}{0,125} + 2,3 \right) \cdot \frac{0,021^2}{2} \cdot 1000 = 18,06 [Pa]$$

Tlaková ztráta řádu F:

Vodovodní řád F na své délce mění směr jen jednou, proto jsem ve výpočtu uvažoval jen ztrátou v koleni a ventilu.

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{0,000255}{0,00636} = 0,04 [m \cdot s^{-1}]$$

$$R_e = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{0,04 \cdot 0,09}{1,31 \times 10^{-6}} = 2748,1 [1]$$

$$\lambda = \frac{0,3164}{R_e^{0,25}} = \frac{0,3164}{2748,1^{0,25}} = 0,044 [1]$$

$$P_{ZF} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho = \left(0,044 \cdot \frac{126}{0,090} + 0,7 \right) \cdot \frac{0,04^2}{2} \cdot 1000 = 49,84 [Pa]$$

Tlaková ztráta řádu G:

Vodovodní řád G na své délce mění směr jen jednou, proto jsem ve výpočtu uvažoval jen ztrátou v koleni a ventilu.

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{0,000255}{0,00503} = 0,05 [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$R_e = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{0,05 \cdot 0,08}{1,31 \times 10^{-6}} = 3053,44 [1]$$

$$\lambda = \frac{0,3164}{R_e^{0,25}} = \frac{0,3164}{3053,44^{0,25}} = 0,043 [1]$$

$$P_{ZCH} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho = \left(0,043 \cdot \frac{48}{0,08} + 0,7 \right) \cdot \frac{0,05^2}{2} \cdot 1000 = 33,13 [\text{Pa}]$$

Tlaková ztráta řádu CH:

Vodovodní řád CH na své délce mění směr třikrát, proto jsem ve výpočtu uvažoval místní ztrátu ve třech kolenech a jednom ventilu.

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{0,000255}{0,0095} = 0,027 [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$R_e = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{0,027 \cdot 0,110}{1,31 \times 10^{-6}} = 2267,18 [1]$$

$$\lambda = \frac{64}{R_e} = \frac{64}{2267,18} = 0,028 [1]$$

$$P_{ZCH} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho = \left(0,028 \cdot \frac{202}{0,110} + 1,5 \right) \cdot \frac{0,027^2}{2} \cdot 1000 = 19,29 [\text{Pa}]$$

Tlaková ztráta řádu I:

Vodovodní řád I na své délce mění směr jen jednou, proto jsem ve výpočtu uvažoval jen ztrátou v koleni a ventilu

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{0,000255}{0,00636} = 0,04 [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$R_e = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{0,04 \cdot 0,090}{1,31 \times 10^{-6}} = 2748,09 [1]$$

$$\lambda = \frac{0,3164}{R_e^{0,25}} = \frac{0,3164}{2748,09^{0,25}} = 0,044 [1]$$

$$P_{ZI} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho = \left(0,044 \cdot \frac{16}{0,090} + 0,7 \right) \cdot \frac{0,04^2}{2} \cdot 1000 = 6,82 [\text{Pa}]$$

Celková tlaková ztráta horního tlakového pásma:

$$P_{ZCEL} = P_{ZB} + P_{ZF} + P_{ZG} + P_{ZCH} + P_{ZI}$$

$$P_{ZCEL} = 18,06 + 49,84 + 33,13 + 19,29 + 6,82$$

$$P_{ZCEL} = 127,14 \text{ [Pa]}$$

Tlaková ztráta v horním tlakovém pásmu je díky velice malým rychlostem proudění kapaliny v potrubí a velkým průměrům potrubí malá. Celková tlaková ztráta horního tlakového pásma je necelých 128 Pa.

Vzhledem k malému spotřebišti s nízkým počtem obyvatel se předpokládá velká nerovnoměrnost v odběru během dne. Předpokládá se, že lidi z vesnice odjíždějí za prací a vodu v domě během pracovní doby nevyužívají. Naopak, když lidi přijedou po práci domů je předpoklad zvýšené spotřeby vody. Z tohoto důvodu maximální denní spotřebu navýším ještě o koeficient hodinové nerovnoměrnosti odběru 4,76. Maximální hodnota průtoku potom je $Q_{MAXD} = 44091 \cdot 4,76 = 209873,16 \text{ l/den}$. Pomocí prvotní úvahy, kde jsem rozdělil vesnici na dvě poloviny, dostávám pro horní tlakové pásmo průtok $Q_{MAXD} = 104936,58 \text{ l/den}$.

Výpočet tlakové ztráty v potrubí horního tlakového pásma pro hodnotu maximálního denního průtoku navýšenou koeficientem nerovnoměrnosti odběru.

$$Q = 104936,58 \text{ [l/den]} = 0,0012 \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$\xi_{kolene} = 0,4 \text{ [1]}$$

$$\xi_{ventilu} = 0,3 \text{ [1]}$$

Parametry potrubí viz. Tabulka 5.

Tlaková ztráta řádu B:

Tato trasa je nejdelší a nejvíce mění směr. Podle situační mapy vodovodního potrubí jsem do výpočtu zahrnul místní ztrátu v 5 kolen a 1 ventilu.

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{0,0012}{0,01227} = 0,098 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{0,098 \cdot 0,125}{1,31 \times 10^{-6}} = 9351,15 \text{ [1]}$$

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} = \frac{0,3164}{9351,15^{0,25}} = 0,032 \text{ [1]}$$

$$P_{ZB} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho = \left(0,0032 \cdot \frac{312}{0,125} + 2,3 \right) \cdot \frac{0,098^2}{2} \cdot 1000 = 394,59 \text{ [Pa]}$$

Tlaková ztráta řádu F:

Vodovodní řád F na své délce mění směr jen jednou, proto jsem ve výpočtu uvažoval jen ztrátou v koleni a ventilu.

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{0,0012}{0,00636} = 0,19 \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$$

$$R_e = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{0,19 \cdot 0,09}{1,31 \times 10^{-6}} = 13053,43 \text{ [1]}$$

$$\lambda = \frac{0,3164}{R_e^{0,25}} = \frac{0,3164}{13053,43^{0,25}} = 0,03[1]$$

$$P_{ZF} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho = \left(0,03 \cdot \frac{126}{0,090} + 0,7 \right) \cdot \frac{0,19^2}{2} \cdot 1000 = 770,74 \text{ [Pa]}$$

Tlaková ztráta řádu G:

Vodovodní řád G na své délce mění směr jen jednou, proto jsem ve výpočtu uvažoval jen ztrátou v koleni a ventilu.

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{0,0012}{0,00503} = 0,24 \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$$

$$R_e = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{0,24 \cdot 0,08}{1,31 \times 10^{-6}} = 14656,49 \text{ [1]}$$

$$\lambda = \frac{0,3164}{R_e^{0,25}} = \frac{0,3164}{14656,49^{0,25}} = 0,029[1]$$

$$P_{ZCH} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho = \left(0,029 \cdot \frac{48}{0,08} + 0,7 \right) \cdot \frac{0,24^2}{2} \cdot 1000 = 521,28 \text{ [Pa]}$$

Tlaková ztráta řádu CH:

Vodovodní řád CH na své délce mění směr třikrát, proto jsem ve výpočtu uvažoval místní ztrátu ve třech kolenech a jednom ventilu.

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{0,0012}{0,0095} = 0,13 \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$$

$$R_e = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{0,13 \cdot 0,110}{1,31 \times 10^{-6}} = 10916,03 \text{ [1]}$$

$$\lambda = \frac{0,3164}{R_e^{0,25}} = \frac{0,3164}{10916,03^{0,25}} = 0,031[1]$$

$$P_{ZCH} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho = \left(0,031 \cdot \frac{202}{0,110} + 1,5 \right) \cdot \frac{0,13^2}{2} \cdot 1000 = 493,71 \text{ [Pa]}$$

Tlaková ztráta řádu I:

Vodovodní řád I na své délce mění směr jen jednou, proto jsem ve výpočtu uvažoval jen ztrátou v koleni a ventilu

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{0,0012}{0,00636} = 0,19 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$R_e = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{0,19 \cdot 0,090}{1,31 \times 10^{-6}} = 13053,44 \text{ [1]}$$

$$\lambda = \frac{0,3164}{R_e^{0,25}} = \frac{0,3164}{13053,44^{0,25}} = 0,03 \text{ [1]}$$

$$P_{ZI} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho = \left(0,03 \cdot \frac{16}{0,090} + 0,7 \right) \cdot \frac{0,19^2}{2} \cdot 1000 = 108,9 \text{ [Pa]}$$

Celková tlaková ztráta horního tlakového pásma:

$$P_{ZCEL} = P_{ZB} + P_{ZF} + P_{ZG} + P_{ZCH} + P_{ZI}$$

$$P_{ZCEL} = 394,59 + 707,74 + 521,28 + 493,71 + 108,9$$

$$P_{ZCEL} = 2226,22 \text{ [Pa]}$$

Tlakové ztráty v horním tlakovém pásmu jsou i po navýšení průtoku koeficientem nerovnoměrnosti odběru stále dosti malé. Opět je to způsobeno velkým průměrem potrubí a malými průtočnými rychlostmi. Pro určování ATS jsou tyto ztráty zanedbatelné a nebudu s nimi dále počítat.

8.5.2 Volba ATS

Pro volbu tlakové stanice jsem musel stanovit zapínací a vypínací tlak. Zapínací tlak bude nejnižší tlak v systému. Tlak v systému by neměl klesnout pod 0,25 MPa. Nižší tlak v síti by mohl mít za následek poškození domácích spotřebičů např. myčky, pračky a dalších v domácnostech. Tlak 0,25 MPa jsem stanovil jako zapínací tlak. Vypínací tlak má hodnotu 0,4 MPa. Po navýšení maximální denní spotřeby koeficienty denní a hodinové nerovnoměrnosti jsem se dostal na hodnotu 4,37 m³/hod neboli 72,87 l/min. Vodní rezerva v nádobě dosahuje velikosti 24 litrů.

P [kW]	1	2	3	4	5	6	8	10
K	0,25	0,33	0,42	0,5	0,58	0,66	0,83	1

Výkon čerpadla P, Koeficient pro stanovení objemu nádoby K

Tabulka 6 – Koeficient pro stanovení objemu nádoby [15]

$$V_{VODY} = K \cdot Q [l]$$

$$V_{VODY} = 0,33 \cdot 72,78 = 24 [l]$$

Objem nádoby celkový (l)	Tlak vzduchu v nádobě (bar)															
	1,3	1,3	1,8	1,8	1,8	2,3	2,3	2,3	2,8	2,8	2,8	3,8	3,8	4,8	4,8	5,8
	Tlak zapínací na tlakovém spínači čerpadla (bar)															
	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,0	3,0	4,0	4,0	5,0	5,0	6,0
	Tlak vypínací na tlakovém spínači čerpadla (bar)															
	2,5	3,0	3,0	3,5	4,0	3,0	4,0	4,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	7,5	8,5	10,0
Vodní rezerva v nádobě vzhledem k tlakovým poměrům v systému (l)																
5	1,3	1,7	1,2	1,6	1,9	1,0	1,4	1,7	1,0	1,3	1,6	1,4	1,8	1,4		
8	2,1	2,8	1,9	2,1	3,0	1,7	2,3	2,7	1,5	2,1	2,5	2,2	2,9	2,3		
19	5,0	6,6	4,4	5,0	7,1	4,0	5,4	6,3	3,6	4,9	6,0	5,2	6,5	5,0		
20	5,3	6,9	4,7	5,3	7,5	4,2	5,7	6,9	3,8	5,2	6,3	5,5	7,2	5,7		
24	6,3	8,3	5,6	6,3	9,0	5,0	6,8	8,0	4,6	5,7	7,2	6,0	8,3	6,2		
40	10,5	13,8	9,3	10,5	14,9	8,4	11,3	13,7	7,6	10,4	12,6	11,0	14,4	11,4		
60	15,0	20,0	14,0	15,0	22,0	12,0	17,0	20,0	11,0	15,0	19,0	16,0	21,0	17,0		
80	21,0	27,0	18,0	21,0	29,0	16,0	22,0	27,0	15,0	20,0	25,0	21,0	28,0	22,0		
100	26,0	34,0	23,0	26,0	37,0	21,0	28,0	34,0	19,0	25,0	31,0	27,0	36,0	28,0	35,0	26,0
200	52,0	69,0	46,0	52,0	74,0	41,0	56,0	68,0	38,0	51,0	63,0	54,0	72,0	56,0	71,0	53,0
300	78,0	103,0	70,0	78,0	112,0	62,0	84,0	102,0	57,0	77,0	95,0	82,0	108,0	85,0	106,0	79,0
500	131,0	172,0	116,0	131,0	186,0	104,0	141,0	171,0	95,0	129,0	158,0	137,0	180,0	142,0	178,0	133,0
750	196,0	259,0	175,0	196,0	280,0	157,0	212,0	256,0	143,0	194,0	237,0	206,0	225,0	213,0	267,0	200,0
1000	262,0	345,0	233,0	262,0	373,0	209,0	282,0	342,0	190,0	259,0	316,0	274,0	360,0	284,0	356,0	265,0
2000	524,0	690,0	466,0	524,0	746,0	418,0	564,0	684,0	380,0	518,0	632,0	548,0	720,0	568,0	712,0	530,0

Obrázek 10 – Volba tlakové nádoby [15]

Vodní rezerva v nádobě mi vyšla 24 litrů, po prozkoumání tabulky na obr. 10 a dosazení zapínacího a vypínacího tlaku jsem se pohyboval v oblasti, kde celkový objem nádoby byl mezi 80 a 100 litry. Objemy tlakové nádoby 80 a 100 litrů jsou nejčastěji doporučované objemy tlakové nádoby pro domácí vodárny.

Zvolil jsem automatickou tlakovou stanici Calpeda 2 MXV 25-204 2x0,75kW 400V [1] bez frekvenčního měniče. Tato stanice je na obr. 11. Doporučeným objem tlakové nádoby pro tuto stanici je 100 litrů. Na základě doporučení jsem zvolil tlakovou nádobu o velikosti 100 litrů od firmy AG Systém označenou MAXIVAREMLS 100. Automatická tlaková stanice Calpeda je vhodná pro zásobování obytných a průmyslových budov. Čerpadla jsou řízena tlakovými spínači. Tlakové spínače dle potřeby zapínají a vypínají čerpadla, taky aby udržovaly v systému požadovaný tlak. V závislosti na spotřebě vody se aktivuje jedno nebo obě čerpadla. Automatická tlaková stanice dosahuje maximálního průtoku $Q_{\max}=9 \text{ m}^3/\text{hod}$ a výtlačný výška je $H_{\max}= 43 \text{ m}$ vodního sloupce. Cena této stanice bez tlakové nádoby je 88 462 Kč s DPH.



Obrázek 11 – Automatická tlaková stanice [10]

8.6 Výběr nového čerpadla pro zemědělský areál

Po naplnění vodojemu 1, voda přepadá do vodojemu 2 v areálu zemědělského družstva. Z tohoto vodojemu je zásobován areál družstva čerpáním z čerpací stanice, která je umístěna přímo ve vodojemu 2. Z celkového denního množství pitné vody obce $100 \text{ m}^3/\text{den}$ připadá zemědělskému areálu spotřeba $70 \text{ m}^3/\text{den}$. Spotřeba podle měření narostla pouze v tomto areálu a to z dřívějších $20 \text{ m}^3/\text{den}$ na nyníjších $70 \text{ m}^3/\text{den}$. Z tohoto důvodu je potřeba osadit čerpací stanici ve vodojemu 2 novým čerpadlem a navrhnout rozvod vody v areálu. Z daného rozvodu bude pokryta potřeba pro zaměstnance a živočišnou výrobu, současně bude plněna funkce požárního rozvodu v areálu. Kapacita vodojemu zahrnuje i rezervu pro požární účely.

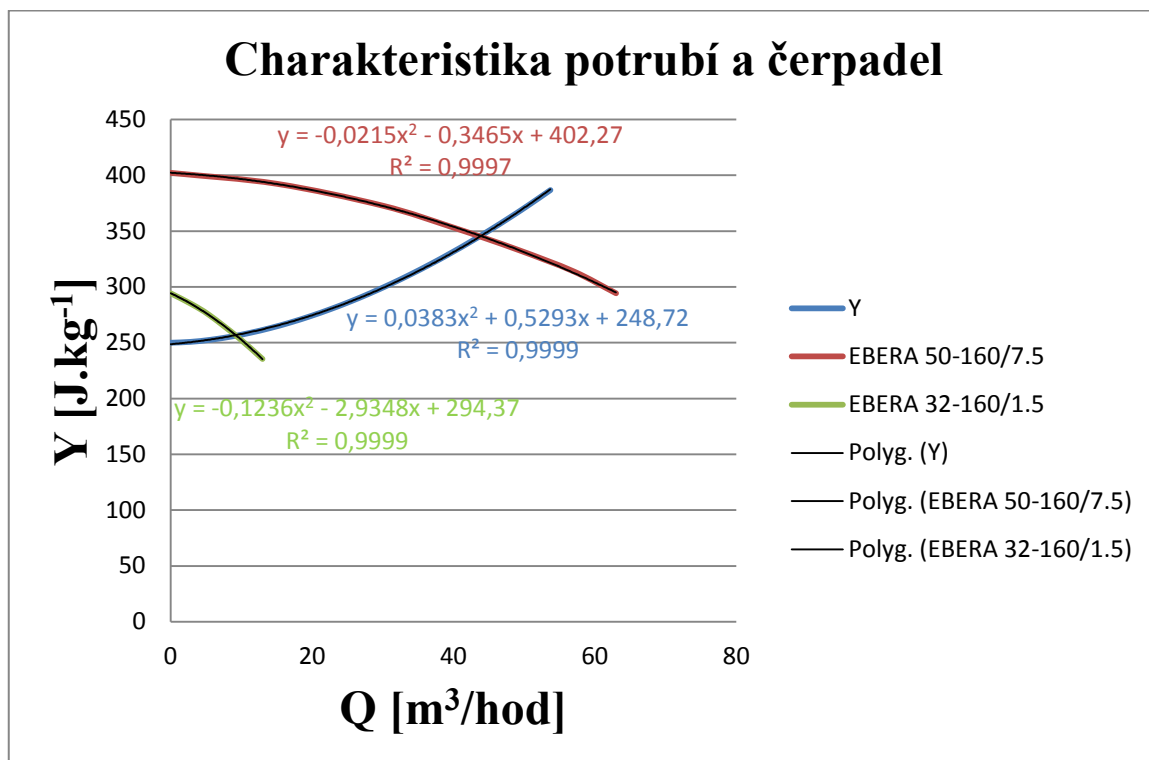
Byl navržen okruh o dvou větvích a délkách 500 m, které budou propojeny. V okruhu jsou osazeny dva požární hydranty. Vnitřní průměr pro zajištění požárního průtoku při rychlosti $v=1,5 \text{ m/s}$ byl navržen 100 mm. Ztráty byly počítány pro případ odstavení jedné větve a dopravy průtoku pouze jednou z nich. Na hydrantu je uvažován koncový tlak $0,25 \text{ MPa}$.

Výpočtem byly zjištěny hodnoty průtoku a měrné energie pro dva stavy. V prvním stavu je uvažováno pouze zásobování obyvatelstva. Ve druhém je uvažován provoz dvou požárních hydrantů.

Vybral jsem dvě čerpadla typu EBARA viz. příloha F. Tato čerpadla jsou nerezová a vhodná pro použití v zemědělství, průmyslu a požárních zařízeních. Čerpadlo EBARA 32-160/1.5 bude pracovat za normálních podmínek, kdy je potřeba zásobit areál pitnou vodou jen pro zaměstnance a dobytek. Druhé čerpadlo EBARA 50-160/7.5 bude pracovat pouze v případě požáru v areálu. Toto čerpadlo musí pokrýt spotřebu vody během hašení požáru za provozu obou hydrantů.

	Q	Y
	$[\text{m}^3/\text{hod}]$	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}]$
První stav	7,88	255,19
Druhý stav	43,2	344,05

Tabulka 7 – Hodnoty průtoku a měrné energie v zemědělském areálu



Graf 11-Charakteristika potrubí a čerpadel v zemědělském areálu

9 Zhodnocení práce

Během vypracovávání mé bakalářské práce jsem pracoval s podklady, které souvisí s návrhem čerpací stanice a komponentů vodovodního hospodářství obce Ovesná Lhota. Informace jsem nacházel v odborné literatuře, na internetových stránkách výrobců a prodejců hydraulické techniky. Využíval jsem taky podkladů na stránkách katedry a informací získaných během studia.

V první části řešení tématu mé bakalářské práce jsem se zabýval návrhem vodojemu, volbou optimálního čerpadla pro vypočtené parametry a určením měrné energie potrubí. Toto jsem řešil pro tři odlišné doby plnění vodojemu tak, aby rychlost proudění kapaliny ve výtlačném potrubí byla vyšší než 1 m/s.

Na základě výpočtu jsem vybral konkrétní čerpadla pro dané doby plnění vodojemu. Tato čerpadla jsem vzájemně porovnal podle finanční náročnosti provozu a rozhodl jsem se vybrat jedno nejvhodnější čerpadlo. Nejlépe vyhovovalo čerpadlo NAUTI VN 9/9, které bylo možno použít u doby plnění vodojemu 12 hodin. Toto čerpadlo mělo nejmenší náklady na provoz. Objemy vodojemů během jednotlivých dob plnění se lišily jen v řádu několika málo kubíků vody a finanční náročnost na stavbu nového vodojemu je srovnatelná.

Dalším bodem bylo vypočítat tlakové ztráty v horním tlakovém pásmu a navrhnout pro toto pásmo automatickou tlakovou stanici. Díky předimenzovaným světlostem potrubím dosahujeme ve vodovodních řádech horního tlakového pásma velice malých rychlostí proudění, a tím i malých tlakových ztrát. Tlakové ztráty jsem proto nezahrnoval do výpočtu automatické tlakové stanice. Jelikož obec Ovesná Lhota má málo obyvatel, dosahujeme zde malého odběru kapaliny, který nás vede ke zvolení automatické tlakové stanice s velikostí tlakové nádoby používané u domácích vodáren. Zvolil jsem stanici Capleda s dvěma čerpadly, která zapínají nebo vypínají tlakové spínače. Objem tlakové nádoby jsem v tomto případě zvolil 100 litrů.

Jako poslední úkol bylo třeba navrhnout nová čerpadla pro zásobování zemědělského areálu, ve kterém došlo k velkému nárůstu spotřeby pitné vody. Navrhl jsem potrubní okružní síť skládající se ze dvou úseků o délkách 500 metrů. Pro návrh čerpadel jsem uvažoval průtok pouze v jednu okružku. Vybral jsem dvě čerpadla EBARA. Menší čerpadlo slouží jen pro zásobování zemědělského areálu pitnou vodou a větší čerpadlo pracuje jen v případě požáru, kdy jsou využívány požární hydranty a je potřeba dodávat větší množství kapaliny.

Seznam obrázků

<i>Obrázek 1 - Čerpací systém [3]</i>	13
<i>Obrázek 2 - Pracovní bod čerpacího systému [2]</i>	20
<i>Obrázek 3 - Třídění typů čerpadel podle měrných objemových otáček [4]</i>	21
<i>Obrázek 4 - Radiální čerpadlo [7]</i>	23
<i>Obrázek 5 - Axiální čerpadlo [13]</i>	23
<i>Obrázek 6 – Diagonální čerpadlo[11]</i>	24
<i>Obrázek 7 - Charakteristika škrcení na výtlaku [2]</i>	26
<i>Obrázek 8 - Charakteristika stočení oběžného kola [2]</i>	27
<i>Obrázek 9 – Vodovodní hospodářství Ovesná Lhota</i>	30
<i>Obrázek 10 – Volba tlakové nádoby [15]</i>	63
<i>Obrázek 11 – Automatická tlaková stanice [10]</i>	63

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1 – Doba plnění vodojemu (10 hodin)</i>	33
<i>Tabulka 2 - Doba plnění vodojemu (12 hodin)</i>	42
<i>Tabulka 3 – Doba plnění vodojemu (13 hodin)</i>	50
<i>Tabulka 4- Porovnání parametrů čerpadel</i>	57
<i>Tabulka 5 – Potrubí horní tlakové pásmo</i>	58
<i>Tabulka 6 – Koeficient pro stanovení objemu nádoby [15]</i>	62
<i>Tabulka 7 – Hodnoty průtoku a měrné energie v zemědělském areálu</i>	64

Seznam grafů

<i>Graf 1 – Výškový profil přívodního potrubí</i>	30
<i>Graf 2 – Diagram plnění vodojemu (10hodin)</i>	34
<i>Graf 3 – Charakteristika potrubí (10 hodin)</i>	37
<i>Graf 4 – Charakteristika potrubí a čerpadel (10hodin)</i>	38
<i>Graf 5 - Diagram plnění vodojemu (12 hodin)</i>	43
<i>Graf 6 - Charakteristika potrubí (12 hodin)</i>	46
<i>Graf 7 - Charakteristika potrubí a čerpadel (12 hodin)</i>	47
<i>Graf 8 – Diagram plnění vodojemu (13 hodin)</i>	51
<i>Graf 9 – Charakteristika potrubí (13 hodin)</i>	54
<i>Graf 10 – Charakteristika potrubí a čerpadla (13 hodin)</i>	55
<i>Graf 11-Charakteristika potrubí a čerpadel v zemědělském areálu</i>	65

Přehled použitých zdrojů

- [1] *Oficiální stránky Brněnské vodárny a kanalizace a.s.* [online] [cit. 2016-04-15].
Dostupný z www: <URL <http://www.bvk.cz/o-spolecnosti/zasobovani-pitnou-vodou/>>
- [2] Blejchař, T., Drábková, S. *Čerpací technika a potrubí, návody do cvičení*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2010 76 s. ISBN 978-80-248-2205-1.
- [3] *Elektronická učebnice*, Olomoucký kraj. [online] [cit. 2016-04-10]. Dostupný z www: <URL <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1924>>
- [4] BLÁHA, Jaroslav – BRADA, Karel. *Hydraulické stroje I. Čerpadla*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1979. 128 s.
- [5] BLÁHA, Jaroslav – BRADA, Karel. *Průručka čerpací techniky*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1997. 289 s. ISBN 80-01-01626-9
- [6] MELICHAR, Jan – BLÁHA, Jaroslav. *Problematika soudobé čerpací techniky*. Praha: ČVUT, 2007. 265 s. ISBN 978-80-01-03719-5.
- [7] *Oficiální stránky požární taktika* [online] [cit. 2016-04-13]. Dostupný z www: <URL <http://www.pozarnitaktika.snadno.eu/Cerpadla.html>>
- [8] *Oficiální stránky Euroclean* [online] [cit. 2016-04-20]. Dostupný z www: <URL <http://www.pumpy-cerpadla.cz/automaticke-tlakove-stanice/automaticke-tlakove-stanice-se-dvema-vertikalnimi-cerpadly-mxv>>
- [9] Kučera, T., Kadula, D.: *Stanovení potřeby vody v případě malých spotřebičů*
URL: < <http://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/8156-stanoveni-potreby-vody-v-pripade-malych-spotrebist> >
- [10] Svoboda, J. 2016 *AQUA SYSTEM s.r.o.* [online]. Dostupný z www: <URL: <http://www.aquasystem.cz/automaticke-tlakove-stanice>>
- [11] *Oficiální stránky Druhy čerpadel* [online]. Dostupný z: <URL: <http://druhy-cerpadel.cz/>>
- [12] BLÁHA, Jaroslav – BRADA, Karel. *Hydrodynamická čerpadla*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1985. 293 s.
- [13] JIROUT, Tomáš. *Základy teorie čerpadel* [online]. Dostupný z: <URL: <http://users.fs.cvut.cz/~jiroutom/vyuka/hmz/hmz2.pdf>>
- [14] *Oficiální stránky AQ Pumpy, s.r.o.* [online] [cit. 2016-04-13]. Dostupný z www: <URL <http://www.aqpumpy.cz/vypis.php?typ=ponorn%E1%20%E8erpadla%20odst%E8ediv%E1&skupina=prumyslova>>
- [15] *Oficiální stránky Sigma pumpy hranice, s.r.o.* [online] [cit. 2016-05-4]. Dostupný z www: <URL <http://www.sigmashop.cz/pdf/PDF/vyberCerpadla/velikostNadob.PDF>>

Seznam příloh

Přílohy na CD.

- A. Provozni rad_vodovodu_Ovesná_Lhota (.doc)
- B. Voda1_10000_OvesLhota (.pdf)
- C. Voda2_2000_OvesLhota (.pdf)
- D. SAER_mbs (.pdf)
- E. NAUTI (.pdf)
- F. EBARA (.pdf)